

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektroenergetiky**

**Vytápění rodinného domu tepelným čerpadlem s akumulací**  
**Family house heating of the heat pump with accumulation**

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Aleš Mončka**  
Studijní program: N2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika  
Téma: Vytápění rodinného domu tepelným čerpadlem s akumulací.  
Family house heating of the heat pump with accumulation.

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor jednotlivých způsobů vytápění.
2. Rozbor problematiky užívání topných systémů ve vztahu k ekologii a ekonomii provozu.
3. Výpočet tepelné ztráty zadaného objektu.
4. Návrh vytápění rodinného domu tepelným čerpadlem s akumulací.

Seznam doporučené odborné literatury:


1. Hradílek, Z.: Elektroenergetika distribučních a průmyslových zařízení. Kniha Montanex 2009. ISBN 978-80-7225-291-6.
2. Hradílek, Z. a kolektiv: Elektrotepelná technika. Kniha ČVUT Praha 2011. ISBN 978-80-01-04938-9.
3. Šrámek J., Hradílek, Z.: MCA Methods Evaluation of Alternative Heating System Application. EPE 2012, Brno.
4. ČSN EN 12831 Výpočet tepelných ztrát budov.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Zdeněk Hradílek, DrSc.**

Datum zadání: 30.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2014

  
prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
vedoucí katedry



  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

### **Prohlášení:**

Já, Bc. Aleš Mončka, čestně prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci na téma Vytápění rodinného domu tepelným čerpadlem s akumulací vypracoval zcela samostatně a uvedl jsem všechnu použitou literaturu a zdroje ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne ..... ..

## **Poděkování:**

Touto cestou bych rád poděkoval mému vedoucímu diplomové práce, panu Prof. Ing. Zdeňku Hradílkovi DrSc. a konzultantovi Ing. Janu Šrámkovi. Děkuji jim za poskytnuté materiály a důležité informace k tématu. Také chci poděkovat panu RNDr. Janu Petrovičovi za zapůjčení a vysvětlení programu PROTECH k provedení výpočtu tepelných ztrát, za řadu cenných informací a především za čas věnovaný odborným konzultacím vztahujícím se k problematice energetické náročnosti budov.

## **Abstrakt:**

Diplomová práce s názvem Vytápění rodinného domu tepelným čerpadlem s akumulací popisuje základní princip činnosti tepelných čerpadel, které můžeme rozdělit podle toho, odkud čerpají primární energii a kam ji následně odevzdávají.

Další část se zabývá výpočtem tepelných ztrát zadaného rodinného domu pomocí profesionálního SW firmy PROTECH.

V závěru diplomové práce je porovnání různých systémů vytápění pomocí ekonomických kritérií, topného faktoru a topného výkonu.

## **Klíčová slova:**

Tepelné čerpadlo, tepelné ztráty, obnovitelný zdroj energie, koeficient prostupu tepla, teplo, Stavové veličiny, bivalentní provoz, topný faktor, topný výkon

## **Abstract:**

The master's thesis titled Family house heating using heat pump with accumulations generally cover the very principle of the heat pumps which can be divided into several groups depending on from where the primary energy is taken and to which media it is subsequently submitted.

The next section deals with calculations of the thermal losses of the specified family house using profesional SW of PROTECH company.

Comparison of the various heating systems according to the economic and enviromental criteria is described at the end of this master's thesis, coefficient of performance, heating power and prize.

## **Key words:**

Heat pump, thermal losses, renewable energy, heat transfer coefficient, energy, heat, state variables, bivalent operation, coefficient of performance, heating power

## Seznam použitých symbolů a zkratek

A	plocha (např. konstrukce)	(m <sup>2</sup> )
A <sub>j</sub>	plocha j-té teplosměnné konstrukce	(m <sup>2</sup> )
CO <sub>2</sub>	oxid uhličitý	
ČSN	Česká státní norma	
d	tloušťka desky	(mm)
DO	dveře ochlazované	
Δt	rozdíl teplot	(°C)
E	energie	(J)
ε	výkonové číslo (topný faktor)	( - )
Φ	tepelný tok	( W*m <sup>2</sup> *K )
λ	součinitel tepelné vodivosti	( W*m*K )
LTO	lehké topné oleje	
OZ	okno zdvojené	
OZE	obnovitelné zdroje energie	
p	tlak (plynu, kapaliny, pracovní látky)	(Pa)
PDL	podlaha	
PL	pracovní látka (tepelného čerpadla)	
Q	teplo, tepelná energie	(J)
Q <sub>D</sub>	teplo odvedené dýcháním	(J)
Q <sub>K</sub>	teplo odvedené prouděním	(J)
Q <sub>M</sub>	teplo vyprodukované lidským tělo	(J)
Q <sub>S</sub>	teplo odvedené sáláním	(J)
Q <sub>V</sub>	teplo odvedené vypařováním	(J)
R	tepelný odpor	( W*m <sup>2</sup> *K )
S	plocha	(m <sup>2</sup> )
SO	stěna ochlazovaná	
SO <sub>2</sub>	oxid siřičitý	
STR	strop	
Σ	součet	
T	termodynamická teplota	(K)
TČ	tepelné čerpadlo	
t <sub>i</sub>	teplota vnitřní části stěny	(K)
t <sub>j</sub>	teplota vnější části stěny	(K)
TL	teplonosná látka	
TTO	těžké topné oleje	
TUV	teplá užitková voda	
U	součinitel prostupu tepla	(W*m <sup>2</sup> *K)
U <sub>Nj</sub>	požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla j-té konstrukce	(W*m <sup>2</sup> *K)
U <sub>N,20</sub>	požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla	(W*m <sup>2</sup> *K)
U <sub>rec,20</sub>	doporučená hodnota součinitele prostupu tepla	(W*m <sup>2</sup> *K)
V	objem (plynu, kapaliny, pracovní látky)	(m <sup>3</sup> )

# Obsah diplomové práce

Seznam obrázků .....	9
Seznam tabulek.....	10
<b>1 Úvod.....</b>	<b>11</b>
<b>2 Spotřeba energie v budovách .....</b>	<b>12</b>
2.1 Stavebně technické vlastnosti budov .....	12
2.2 Tepelná pohoda.....	17
<b>3 Rozbor jednotlivých způsobů vytápění.....</b>	<b>19</b>
3.1 Vytápění neobnovitelnými zdroji energie .....	19
3.1.1 Vytápění tuhými palivy .....	19
3.1.2 Vytápění elektrickou energií .....	20
3.1.2.1 Vytápění zemním plynem .....	21
3.1.3 Vytápění ostatními neobnovitelnými zdroji energií .....	22
3.2 Vytápění obnovitelnými zdroji energie .....	22
3.2.1 Vytápění biomasou.....	22
<b>4 Vytápění domu pomocí tepelného čerpadla.....</b>	<b>24</b>
4.1 Fyzikální princip tepelného čerpadla.....	24
4.2 Hodnotící parametry tepelného čerpadla .....	26
4.2.1 Topný výkon a elektrický příkon .....	27
4.2.2 Topný faktor.....	27
4.2.3 Výkonové přizpůsobení.....	28
4.2.4 Regulace tepelných čerpadel .....	30
4.2.5 Akumulace tepla.....	30
4.3 Druhy tepelných čerpadel .....	31
4.3.1 Tepelná čerpadla vzduch – vzduch .....	31
4.3.2 Tepelná čerpadla vzduch – voda .....	32
4.3.3 Tepelná čerpadla voda – voda .....	33
4.3.3.1. Tepelná čerpadla voda – voda využívající povrchovou vodu .....	33
4.3.3.2. Tepelná čerpadla voda – voda využívající podzemní vodu.....	34
4.3.4. Tepelná čerpadla země – voda .....	34
4.3.4.1. Tepelná čerpadla země – voda využívající hloubkový vrt .....	35
4.3.4.2. Tepelná čerpadla země – voda s plošným kolektorem .....	35

<b>5.</b>	<b>Vliv topných systémů na ekologii a ekonomii provozu .....</b>	<b>37</b>
<b>6.</b>	<b>Praktická část .....</b>	<b>39</b>
6.1.	Popis zadaného objektu .....	39
6.1.1.	Technická zpráva objektu.....	39
6.2.	Seznámení s programem PROTECH .....	40
6.2.1.	Popis konstrukcí objektu .....	41
6.2.2.	Popis místností .....	43
6.3.	Výpočet tepelných ztrát objektu .....	45
6.3.1.	Výpočet podle ČSN 73 0540-2:2011 .....	45
<b>7.</b>	<b>Návrh vhodného druhu tepelného čerpadla .....</b>	<b>50</b>
7.1.	NIBE SPLIT SET 1 .....	50
7.2.	NIBE SPLIT SET 10 .....	50
7.3.	VISSMANN VITOCAL 242-S.....	51
<b>8.</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>52</b>
	<b>Seznam literatury.....</b>	<b>53</b>
	<b>Seznam příloh.....</b>	<b>55</b>



## Seznam obrázků

Obrázek 1 – Graf závislosti součinitele prostupu tepla na tloušťce minerální vlny.....	15
Obrázek 2 – Tepelná pohoda [6] .....	17
Obrázek 3 – Pelety [8] a brikety [9] .....	23
Obrázek 4 - Princip činnosti tepelného čerpadla [10] .....	24
Obrázek 5 – Princip činnosti tepelného čerpadla [12] .....	26
Obrázek 6 – princip čerpání energie na vyšší hladinu .....	27
Obrázek 7 - Paralelně bivalentní provoz [13] .....	29
Obrázek 8 - Bod bivalence .....	30
Obrázek 9 - Princip funkce tepelného čerpadla vzduch – vzduch [16].....	31
Obrázek 10 – Princip rekuperace [15].....	32
Obrázek 11 - Tepelné čerpadlo vzduch – voda [16] .....	33
Obrázek 12 - Tepelná čerpadla voda - voda využívající povrchovou vodu [18] .....	34
Obrázek 13 - Tepelná čerpadla voda - voda využívající podzemní vodu [19] .....	34
Obrázek 14 - Tepelná čerpadla země - voda využívající hloubkový vrt [20] .....	35
Obrázek 15 - TČ země - voda s plošným kolektorem a 1 zásobníkem TUV [21] .....	36
Obrázek 16 - Karta místnosti v programu "Tepelný výkon" .....	43
Obrázek 17 - Závislost průměrného výkonu v průběhu topného období .....	47
Obrázek 18 - Karta konstrukce SO1 v programu "Tepelný výkon" .....	48
Obrázek 19 - Rozdělení ztrát mezi konstrukce .....	49
Obrázek 20 - Výpočet potřeby energie na vytápění .....	49

## Seznam tabulek

Tabulka 1 – Závislost součinitele prostupu tepla na tloušťce minerální vlny.....	15
Tabulka 2 - Energetické rozdělení budov .....	16
Tabulka 3- Princip činnosti tepelného čerpadla .....	25
Tabulka 4 Přehled pořizovacích a provozních nákladů .....	37
Tabulka 5 Emise různých zdrojů energie .....	38
Tabulka 6 Hodnocení zdrojů energie podle vlivu na ekonomii provozu a ekologii .....	38
Tabulka 7 – Výpočet průměrného koeficientu prostupu tepla pro SO1 .....	42
Tabulka 8 - Výpočet průměrného koeficientu prostupu tepla pro PDL1 .....	42
Tabulka 9 - Výpočet průměrného koeficientu prostupu tepla pro STR1 .....	42
Tabulka 10 - Výpočet měrné ztráty místnosti „Pracovna“ .....	43
Tabulka 11 – Výpočet měrných tepelných ztrát.....	44
Tabulka 12 Výpočet měrné ztráty budovy a referenční budovy .....	45
Tabulka 13 – Výpočet tepelných ztrát způsobených prostupem tepla .....	46
Tabulka 14 – Výpočet tepelných ztrát způsobených větráním .....	46
Tabulka 15 – Výpočet výkonu topného systému připadající na ohřev teplé vody .....	47
Tabulka 16 - Porovnání hodnot veličin vypočtených ručně a programem "Tepelný výkon“ ..	48

## 1 Úvod

Pojem tepelná energie či samotná energie patří mezi velmi často používané výrazy, se kterými se setkáváme téměř denně na každém kroku a závisí na ní veškeré dění probíhající podle fyzikálních zákonů. Je to právě energie, která je jak příčinou, tak i důsledkem všech stavových změn látek, těles i celých soustav. Život bez energie si nelze představit, protože udržuje celou přírodu a lidstvo v pohybu a při životě. Patří mezi hlavní veličinu ve všech oblastech fyziky, chemie, elektrotechniky, energetiky na celém světě. I když je vše kolem nás přímo nabito energií, nelze ji jednoduše sbírat nebo dýchat jako vzduch, který nás obklopuje. Tato energie je vázaná v atomech a molekulách a pro naši potřebu ji musíme nejdříve uvolnit nebo změnit její formu. energii vázanou ve fosilních palivech lze uvolnit chemickou reakcí – oxidací (spalováním), energii ukrytou v jádrech některých atomů lze uvolnit jadernou reakcí.

Energie se používá ve všech odvětvích technického i společenského života. Mezi nejvýznamnější oblasti spotřeby energie patří těžba uhlí a nerostů, průmysl, doprava, administrativa a spotřeba energie v budovách určených k bydlení.

Již několik desetiletí odborníci upozorňují na to, že zásoby fosilních paliv se rychle vyčerpávají a pro příští generace nezbude z prozkoumaných zásob dříve nebo později nic. Nezbývá proto, než hledat nové zdroje energie a současně snižovat její spotřebu.

Koncepce hospodaření energií patří ke klíčovým programům vlád všech zemí a promítá se do základních legislativních dokumentů, kterými je v České republice zákon č. 406/2000 Sb. O hospodaření energií [1], na který je vázána celá řada vyhlášek, z nichž v souvislosti s mou DP uvádím pouze vyhlášku č. 78/2013 Sb. O energetické náročnosti budov [2]. Z této vyhlášky vyplývají všeobecné požadavky na nové budovy a větší změny dokončených staveb.

V teoretické části této diplomové práce jsem se zabýval problematikou stavebnětechnických vlastností staveb a technických systémů pro vytápění a ohřev teplé vody. Součástí teoretického rozboru je posouzení použití různých topných systémů ve vztahu k ekologii a ekonomii provozu. V praktické části jsem provedl výpočet tepelných ztrát zadané nástavby rodinného domu a pro tuto nástavbu jsem navrhl technický systém pro vytápění a ohřev teplé vody – tepelné čerpadlo s akumulací.

## 2 Spotřeba energie v budovách

Jedna z nejvýznamnějších oblastí spotřeby energie jsou obytné a administrativní budovy. Spotřeba energie v budovách je spojená s úpravou vnitřního prostředí na požadovanou úroveň. Tím se rozumí především **vytápění** na požadovanou vnitřní výpočtovou teplotu, chlazení, **větrání**, zvlhčování vzduchu, **ohřev teplé vody** a osvětlení. [2] V rámci této diplomové práce jsem se zabýval pouze třemi zvláště výraznými součástmi.

Spotřeba energie v budovách závisí na dvou faktorech a těmi jsou energetická náročnost budovy a vlastnosti technických systémů vytápění, chlazení, větrání a přípravy teplé vody. Pro vytápění platí, že v rovnovážném stavu musí být ztráty způsobené prostupem tepla a větráním (po odečtení tepelných zisků z oslunění a ostatních tepelných zisků) v rovnováze s energií dodanou do vytápěného prostoru. V případě, že ztráty budou vyšší jako dodaná energie, nevytopíme danou budovu na požadovanou teplotu. V opačném případě ji budeme přetápět na vyšší než požadovanou teplotu. V tomto případě lze ovšem použít vhodnou regulaci a výkon zdroje tepla snížit na potřebnou úroveň.

Výpočet se provádí přes všechny konstrukce, které ohraničují vytápěný prostor (obálkou budovy). Výpočet ztrát způsobených větráním zase závisí od objemu vytápěného prostoru a intenzity výměny vzduchu. Intenzita výměny vzduchu určuje, kolikrát za hodinu se musí vyměnit vnitřní vzduch. Intenzita výměny vzduchu se uvádí v jednotkách [  $\text{hod}^{-1}$  ] a je určena dle hygienických norem.

Ztráty prostupem tepla konstrukcemi závisí od stavebně technických vlastností jednotlivých konstrukcí. V následujících částech se budu samostatně věnovat jednak rozboru možného provedení staveb, tak rozboru technických systémů vytápění. Obě součásti jsou při projektování staveb nerozlučně spjaté a na obě se vztahují zásady hospodárního užití energie.

### 2.1 Stavebně technické vlastnosti budov

Jak je uvedeno v úvodu diplomové práce, jednou ze základních vyhlášek provádějících zákon 406/2000 Sb., je vyhláška č. 78/2013 Sb. O energetické náročnosti budov. Tato vyhláška v §1 stanoví zejména:

„a) nákladově optimální úroveň požadavků na energetickou náročnost budovy pro nové budovy, větší změny dokončených budov, jiné než větší změny dokončených budov a **pro budovy s téměř nulovou spotřebou energie**,

b) metodu výpočtu energetické náročnosti budovy,

c) vzor posouzení technické, ekonomické a ekologické proveditelnosti alternativních systémů dodávek energie,“ [2]

V dalších paragrafech stanoví ukazatele energetické náročnosti budovy, kterými jsou „celková primární energie za rok; neobnovitelná primární energie za rok; celková dodaná energie za rok; dílčí dodané energie pro technické systémy vytápění, chlazení, větrání, úpravu vlhkosti, přípravu teplé vody a osvětlení za rok; průměrný součinitel prostupu tepla; součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí na systémové hranici; účinnost technických systémů.

Hodnoty ukazatelů energetické náročnosti budov se stanovují výpočtem na základě dokumentace.“ [2]

Metoda hodnocení spočívá v porovnání hodnocené budovy s referenční hodnotou. Referenční budova je taková budova, která je geometricky shodná s posuzovanou budovou. Pro referenční budovu se použijí parametry stavebních prvků, konstrukcí a technických systémů uvedené v příloze č.1 citované vyhlášky. První čtyři a sedmý hodnotící ukazatel se týká technických systémů a zmíním se o nich v části věnované způsobům vytápění. Pátý a šestý ukazatel se týká konstrukcí obálky budovy.

Průměrný součinitel prostupu tepla referenční budovy  $U_{em,N,20}$  se určí postupem uvedeným v ČSN 73 0540-2:2011 [4], a to jako průměr normových požadovaných hodnot součinitelů prostupu tepla všech teplosměnných ploch podle vztahu:

$$U_{em,N,20} = \frac{\sum (U_{Nj} \cdot A_j \cdot b_j)}{\sum A_j} + 0,02 \quad (W \cdot K \cdot m^{-2}) \quad (1)$$

$U_{Nj}$  požadovaná normová hodnota součinitele prostupu tepla  $j$ -té teplosměnné konstrukce

$A_j$  plocha  $j$ -té teplosměnné konstrukce stanovená z vnějších rozměrů součinitelů  $U_{Nj}$  všech teplosměnných konstrukcí

V další části si odvodíme postup výpočtu koeficientu prostupu tepla  $U$ . Předpokládejme, že máme

jednoduchou rovnorodou stěnu o ploše  $A$  a tloušťce  $d$ . Na jedné straně stěny bude vyšší teplota  $t_i$  a na druhé bude nižší teplota  $t_e$ . V důsledku 2. zákona termodynamiky se bude teplo z teplejšího prostředí přenášet do prostředí chladnějšího a za čas  $t$  se přeneseme teplo  $Q$ . Tepelný tok  $\Phi$  bude dán vztahem:

$$\Phi = \frac{Q}{t} = \frac{\lambda}{d} \cdot S \cdot (t_i - t_e) \quad (W) \quad (2)$$

Veličina  $\lambda$  se nazývá součinitel tepelné vodivosti a je konstantou charakteristickou pro daný materiál. Převrácená hodnota součinitele tepelné vodivosti se nazývá tepelný odpor.

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (\text{W}^*\text{K}^*\text{m}^2) \quad (3)$$

$d$  tloušťka desky

$\lambda$  součinitel tepelné vodivosti (materiálová konstanta)

Terminologie je analogická s terminologií vedení elektrického proudu, protože podstata obou fyzikálních jevů je naprosto shodná. V praxi mohou nastat jak případy, kdy požadujeme, aby měl materiál vysokou „vodivost“ tepla, tak případy kdy požadujeme minimální vodivost. Tato situace nastává v souvislosti s tepelnou ochranou budov, kdy požadujeme, aby konstrukce oddělující vytápěný prostor od nevytápěného, měly co nejvyšší tepelný odpor.

Bez nutnosti podrobnějšího dokazování platí mezi měrnou hmotností a tepelnou vodivostí nepřímá úměra. Čím má materiál nižší měrnou hmotnost, tím menší tepelnou vodivost a vyšší tepelný odpor. Takový materiál má ale současně nízkou pevnost a nosnost. Zatímco požadavky statiků jsou zaměřené na pevné, ale špatně izolující materiály, uživatelé budov potřebují lehké konstrukce s vysokým tepelným odporem. V praxi to lze dosáhnout konstrukcemi se sendvičovou strukturou. Jednotlivé vrstvy se zařazují tak, aby celá složená konstrukce plnila všechny funkce.

Předpokládejme, že ve výše popsaném modelu budou stěnu tvořit místo jedné dvě- nebo i více vrstev. Z předpokladu, že tepelný tok všemi vrstvami je stejný (jinak by se na rozhraní mezi vrstvami hromadilo teplo), a z předpokladu, že na rozhraní dvou vrstev bude vždy existovat teplota  $t_{12x}$ ,  $t_{23x}$  atd. pro které bude platit, že

$$t_i > t_{12x} > t_{23x} > t_e \quad (^\circ\text{C}) \quad (4)$$

kde

$t_{ijx}$  je neznámá teplota mezi vrstvou  $i$  a  $j$

Z výše uvedených předpokladů lze odvodit vztah,

$$\Phi = \frac{S \cdot (t_i - t_e)}{\Sigma R} = \frac{S \cdot (\Delta t)}{\Sigma R} \quad (^\circ\text{C}) \quad (5)$$

kde

$\Sigma R$  součet tepelných odporů všech desek

$\Delta t$  rozdíl teplot

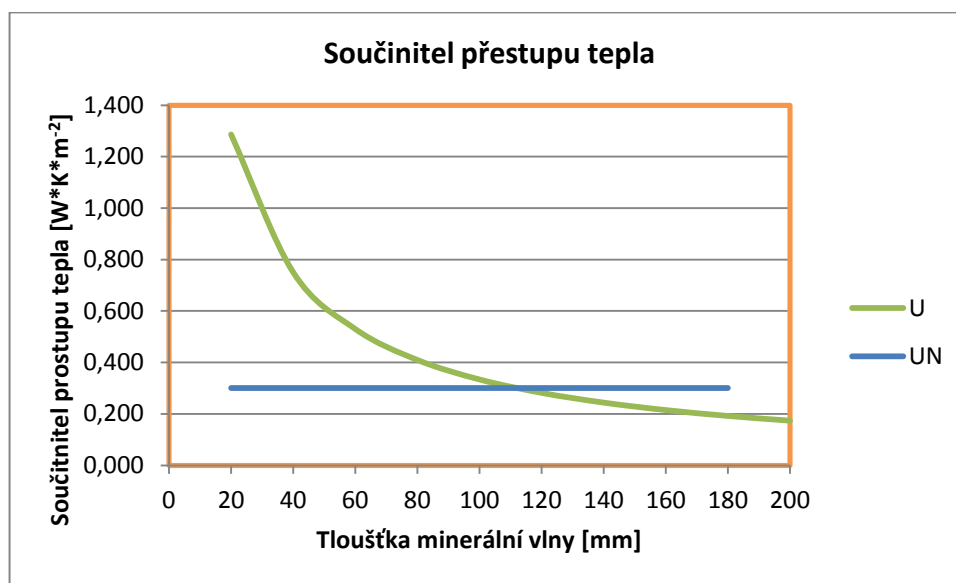
$S$  obsah plochy desky

který říká, že odpor vícevrstvé konstrukce je rovný součtu odporů jednotlivých konstrukcí.

Tento postup výpočtu byl následně použitý při stanovení tepelného odporu konstrukcí obálky rodinného domu. Převrácená hodnota tepelného odporu se nazývá součinitel prostupu tepla  $U$ .

**Tabulka 1 – Závislost součinitele prostupu tepla na tloušťce minerální vlny**

Tloušťka		R	U	UN
20	0,556	0,778	1,286	0,3
40	1,111	1,333	0,750	0,3
60	1,667	1,889	0,529	0,3
80	2,222	2,444	0,409	0,3
100	2,778	3,000	0,333	0,3
120	3,333	3,556	0,281	0,3
140	3,889	4,111	0,243	0,3
160	4,444	4,667	0,214	0,3
180	5,000	5,222	0,191	0,3
200	5,556	5,778	0,173	0,3



**Obrázek 1 – Graf závislosti součinitele prostupu tepla na tloušťce minerální vlny**

V grafu je znázorněná požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla  $U_{N,20}$ . Místo, kde se obě křivky protínají, určuje minimální tloušťku izolační vrstvy.

Stavebně technické vlastnosti budov rovněž závisí od několika faktorů. Je nutné rozlišovat mezi budovami existujícími, rekonstruovanými či revitalizovanými a budovami novými. V každém časovém období existovali aktuálně platné normy, které určovali požadavky na „nové stavby“. To znamená, že v dané době bylo možné stavět pouze takové budovy, které splňovaly požadovaná kritéria. Ze stavebně technického hlediska to byly především kritéria z oblasti statiky (pevnost, pružnost), tepelně izolačních vlastností, měrné hmotnosti konstrukcí, vlhkostních bilancí apod. Projektanti byli přitom limitováni požadavky investora, technickými a legislativními normami, dostupnými stavebními materiály a samozřejmě cenou.

V souvislosti se zadáním diplomové práce se budu v dalším rozboru zabývat pouze novými budovami. V závislosti na vlastníkově stavby a velikosti energeticky vztažné plochy zákon č.406/2000 Sb. stanoví povinnost doložit splnění požadavků na energetickou náročnost budovy s téměř nulovou spotřebou energie. Pro tyto budovy musí být průměrný součinitel prostupu tepla nižší, než je 0,7-mi násobek požadované hodnoty  $U_{em,N,20}$ . Další kritéria se týkají technických systémů v budově.

**Tabulka 2 - Energetické rozdělení budov**

Termín	Energeticky vztažná plocha budovy	Vlastník budovy
1.ledna 2016	$> 1500 \text{ m}^2$	Orgán veřejné moci
1.ledna 2017	$> 350 \text{ m}^2$	Orgán veřejné moci
1.ledna 2018	$< 350 \text{ m}^2$	Orgán veřejné moci
1.ledna 2018	$> 1500 \text{ m}^2$	Ostatní vlastníci
1.ledna 2019	$> 350 \text{ m}^2$	Ostatní vlastníci
1.ledna 2020	$< 350 \text{ m}^2$	Ostatní vlastníci
Netýká se	$< 50 \text{ m}^2$	Všichni vlastníci

Z uvedeného přehledu je patrné, že v budoucnu bude možné stavět pouze budovy, které budou splňovat přísná kritéria na tepelně izolační vlastnosti budov. To zajistí výrazné snížení spotřeby energie v budovách.

Celá problematika vytápění a technických podmínek kladených na obytné budovy je mnohem složitější. Všechny požadavky zabírají desítky stran normativních dokumentů a jejich systematické vyjmenování přesahuje rámec diplomové práce. Přesto bych se rád zmínil alespoň o jednom požadavku a tím je tepelná pohoda v místnosti.



## 2.2 Tepelná pohoda

Tepelná pohoda je pocit, který člověk vnímá při pobytu v daném prostředí. Pocit pohody je silně ovlivněn činností, kterou člověk vykonává. Při různých činnostech člověk produkuje různé množství tepla, které musí být odvedeno do prostoru, aby se nezvýšila teplota jeho těla. Na druhé straně odvod tepla nesmí být tak intenzivní, že by docházelo k výraznému snížení teploty těla. Člověk by tedy neměl cítit v daném prostředí ani pocit nepříjemného chladu, ani nepříjemného tepla.

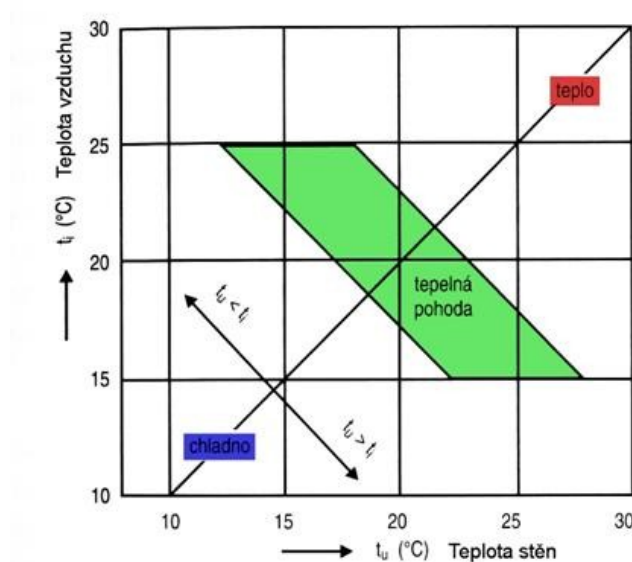
Faktory, které ovlivňují podmínky pro dosažení tepelné pohody jsou jak objektivní tak subjektivní.

Objektivními faktory jsou čtyři měřitelné a technickými prostředky ovlivnitelné veličiny, kterými jsou:

- teplota vzduchu
- vlhkost vzduchu
- rychlost proudění vzduchu
- teplota okolních stěn či předmětů

Subjektivní závisí na vlastnostech člověka, jeho tělesném a psychickém stavu, věku, schopnosti aklimatizace apod.)

Níže uvedený graf znázorňuje oblast tepelné pohody v závislosti na teplotě vzduchu a teplotě povrchů stěn a podlah, které vytápěnou místnost ohraničují.



Obrázek 2 – Tepelná pohoda [6]

Z grafu lze vyčíst, že optimálním je stav, kdy jsou obě teploty stejné a mají hodnotu vnitřní výpočtové teploty (v našem případě 20°C). Se vzdáleností od tohoto bodu bude pocit tepelné pohody klesat. Zelená oblast vyznačená v grafu je velmi široká a pravděpodobně zahrnuje hodnocení velkého

počtu lidí. Přitom je jasné, že sledovat televizní pořad, číst knihu nebo psát diplomovou práci by nikdo nechtěl v podmínkách (např. v garáži), kdy je teplota vzduchu v místnosti na úrovni 15°C, ale stěny mají teplotu 25°C (spíše jenom jedna z nich) a/nebo v místnosti s vnitřní teplotou 25°C, ale v které je teplota podlahy, nebo stěny, u které sedím, pouze na úrovni 15°C. Tento stav bude dosažen např. v podmínkách, kdy mají obvodové konstrukce nebo podlahy vysoký součinitel prostupu tepla a vysoké ztráty prostupem tepla, které jsou kompenzovány výkonným zdrojem tepla. Z hlediska rozložení teplot je důležitá teplota v místě nohou (u podlahy), která by měla být zhruba 21°C. Teplota v úrovni hlavy by měla být kolem 19 °C resp. rozdíl těchto dvou teplot by neměl být z pohledu tepelné pohody u sedícího člověka větší než 1,5°C resp. 2°C u stojícího člověka. V rovnovážném stavu lze vztah mezi teplem vyprodukovaným lidským tělem a teplem odvedeným z lidského těla pomocí následující rovnice: [7]

$$Q_M = Q_v + Q_D + Q_K + Q_S \quad (W) \quad (6)$$

$Q_M$  teplo vyprodukované lidským tělem

$Q_v$  teplo odvedené vypařováním z povrchu lidského těla

$Q_D$  teplo odvedené dýcháním

$Q_K$  teplo odvedené prouděním vzduchu v místnosti

$Q_S$  teplo odvedené sáláním

Z uvedeného vztahu vyplývá, že při zvýšené fyzické námaze člověk vyprodukuje větší množství energie. Pokud bude teplota v místnosti vysoká a místnost nebude dostatečně větraná, teplo odvedené odpařováním a prouděním vzduchu se sníží a člověk se bude cítit nepříjemně. V případě sledování televize, čtení knížky, práce na počítači bude situace opačná.

Přirozeným důsledkem splnění aktuálních požadavků kladených na nové budovy bude bezpochyby i tepelná pohoda.

### 3 Rozbor jednotlivých způsobů vytápění

Dělení jednotlivých způsobů vytápění lze provádět podle různých kritérií. S ohledem na zadání diplomové práce jsem možné způsoby rozdělil na vytápění obnovitelnými resp. neobnovitelnými zdroji. Společnou vlastností obou typů vytápění je jejich závislost na aktuálně platné státní energetické koncepci a na dosažené úrovni technických systémů vytápění jakož i jejich fyzické a ekonomické dostupnosti. Výběr vhodného technického systému vytápění je možné přirovnat k řešení rovnice o třech neznámých:

- Dostupnost palivo, zdroje energie
- Dostupnost vhodného technického systému na trhu, jeho výkonové přizpůsobení
- Platná legislativa (stavební zákon, zákon o hospodaření energií, bezpečnost apod.)

V další části je proveden popis technických systémů, které v současné době většinou splňují pouze první dvě kritéria. V případě výstavby nových budov a větších změn dokončených budov je většinou nutné v důsledku platné legislativy, ale i širokého sortimentu moderních technických systémů vytápění přistoupit na změnu orientace směrem k obnovitelným zdrojům energie. V mnoha případech může vlastník obdržet podporu na realizaci zateplení či instalaci ekologického vytápění.

Z důvodu zachování kontinuity informací se na tomto místě zmíním o faktoru souvisejícím se spotřebou celkové primární energie, i když logicky patří do kapitoly zabývající se problematikou technických systémů v budovách. Celková primární energie a neobnovitelná primární energie se vypočítá jako součet součinů dodané energie (po jednotlivých energonositelích) a faktorů dodané energie. Tyto faktory třikrát znevýhodňují především elektrickou energii ve prospěch energie dodané z obnovitelných zdrojů (dřevo, pelety, okolní prostředí apod.)

#### 3.1 Vytápění neobnovitelnými zdroji energie

Mezi vytápění neobnovitelnými zdroji energie patří vytápění tuhými palivy (černé a hnědé uhlí, koks), topnými oleji, zemním plynem (méně propan-butanem) a elektrickou energií.

##### 3.1.1 Vytápění tuhými palivy

Vytápění tuhými palivy, zejména hnědým nebo černým uhlím, v omezené míře i koksem, bylo dáno koncepcí 60-tých až 80-tých let minulého století. Hnědé i černé uhlí byly domácí suroviny, a proto bylo jejich využití pro krytí energetické spotřeby v budovách preferováno. Tomu společně se skutečností, že na trhu byli dostupné především kamna na tuhá paliva. V uvedeném období netržního hospodářství se jednalo o nejlevnější způsob získávání energie pro lokální spotřebu. V té době se nehodnotil negativní dopad „drancování“ přírodních zdrojů na krajinu (poddolování na Ostravsku a Karvinsku), dopad na životní prostředí způsobený vysokými emisemi tuhých látek, sloučenin na bázi

$\text{NO}_x$  a  $\text{SO}_x$  ve spalínách do ovzduší. Ještě dnes se důsledky tehdejší koncepce projevují vznikem smogových situací, zejména v Moravskoslezském kraji. Rovněž se nehodnotila skutečnost, že předtím, než se tuhá paliva dostala ke spotřebiteli, musely být vyrobené těžební stroje, vybudovány doly, uhlí muselo být vytěženo a distribuováno. Všechny kroky byly extrémně náročné na spotřebu energie potřebné na získání energie pro spotřebu.

Mezi hlavní nevýhody tohoto způsobu vytápění patřila nízká účinnost spalování, nízká regulovatelnost zdrojů a nízký uživatelský komfort a vysoká pracnost (pravidelné čištění, vynášení popela, zatápění, vysoká prašnost, manipulace s palivem apod.).

Z uhlí lze energii získat spalováním, což je chemická reakce prováděná a současně podmíněná vysokou teplotou. Klasický kotel na tuhá paliva byl konstruován tak, že výstupní produkt – spaliny – jsou vedeny do výměníku tepla (soustava ocelových trubek) a následně jsou vedeny do spalinových cest. Spaliny mají teplotu vyšší jak  $100^\circ\text{C}$ , nejsou dostatečně ochlazené, obsahují značné množství popela a vodní páru, která sebou odnáší skupenské teplo páry. Účinnost kotlů na tuhá paliva byla velmi nízká a pohybovala se v rozmezí od 55 do 66 %.

### 3.1.2 Vytápění elektrickou energií

Vytápění elektrickou energií bylo preferováno v 70-tých až 90-tých letech minulého století. Množství vyrobené elektrické energie bylo měřítkem ekonomického růstu. Průmyslová výroba probíhala až na výjimky pouze v jednosměnném případně dvousměnném režimu. V nočních hodinách a mimo špičky vznikala přebytek elektrické energie, která byla na trhu nabízena přibližně za třetinovou cenu.

Elektrická energie se využívala a stále využívá zejména na ohřev teplé vody tam, kde neexistuje kombinovaný zdroj energie pro vytápění i ohřev vody. Pro vytápění elektrickou energií se využívaly jednak akumulární kamna a tzv. přímotopy. První typ zdrojů tepla akumuloval v době platnosti nízkého tarifu elektřiny Joulovo teplo, které vzniká při průchodu proudu topnou spirálou, do vhodného materiálu a v době platnosti obou tarifů pak uvolňoval teplo do okolního prostředí. Akumulační kamna mohla mít ventilátor na zajištění nuceného oběhu vzduchu, což zase způsobovalo rychlejší vyčerpání naakumulované energie. Přímotopy jsou kamna, která pracují opět na principu využití Joulova tepla ( $Q=RI^2t$ ), a to okamžitě v době odběru elektrické energie. Odporová spirála topného tělesa může ohřívat přímo vytápěný prostor nebo teplonosnou látku, která je z elektrokotle vedena ke klasickým radiátorům.

V oblasti výroby elektrické energie patří Česká republika ke státům, které mohou elektřinu vyvážet. Elektřina je v ČR vyráběna asi z 50 % z hnědého uhlí, které je domácí surovinou. Na rozdíl od spalování uhlí v lokálních kotlích mají elektrárenské systémy vyšší účinnost spalování, nižší ztráty, nižší emise tuhých látek a sloučenin na bázi  $\text{NO}_x$  a  $\text{SO}_x$  ve spalínách, přesto je oblast severních Čech

často postihována smogovými situacemi stejně jako již zmíněné Ostravsko a Karvinsko. Lokální dopad na životní prostředí v místě spotřeby elektrické energie je nulový, proto musíme uvažovat o globálním dopadu na životní prostředí. Související počáteční náklady na energii jsou stejné, jako v případě uhlí.

Mezi hlavní výhody tohoto způsobu vytápění patřila vysoká účinnost užití energie v místě spotřeby (až 97 %), dobrá a jednoduchá regulovatelnost zdrojů a vysoký uživatelský komfort (bezobslužný provoz).

### **3.1.2.1 Vytápění zemním plynem**

Vytápění zemním plynem bylo koncepčním řešením od 80-tých let minulého století téměř až do konce první dekády nového století. I když zemní plyn nepatří mezi domácí surovinu, lze konstatovat, že zemního plynu je v důsledku dřívějších gigantických projektů, jako byly ropovod a plynovod z území bývalého Sovětského svazu (nyní Ruska), dostatek. Jak se ale již několikrát ukázalo, jedná se o zdroj velmi zranitelný podle toho, jak se vyvíjela a bude vyvíjet celosvětová ekonomická, ale především politická situace. Cena zemního plynu pro domácnosti stoupla od počátku 90-tých let z necelé koruny za 1 m<sup>3</sup> na přibližně 16 Kč/m<sup>3</sup> a silně závisí na politických změnách na středním východě, ale i v jiných částech světa.

Obce (s přispěním dotací z evropských fondů) vynaložily nemalé finanční prostředky na plynofikaci. Středotlaké plynovody jsou rozvedeny do většiny hustě obydlených oblastí. Vzhledem k tomu, že zemní plyn je výrazně levnější než elektřina, využívá se jak na vytápění, tak na ohřev vody.

Účinnost spalování závisí od technického provedení kotle. Tzv. kondenzační kotle umožňují zpětné získávání skupenského tepla páry obsažené ve spalínách. V kondenzačním výměníku dochází na straně spalín k jejich ochlazení pod 100°C a následné kondenzaci vodní páry. Kondenzát odevzdá skupenské teplo odpařování teplotně méně náročné látky na vratné straně. Předehřeje ji a pak vstupuje do hlavního výměníku. Účinnost spalování se pohybuje kolem 85% (kondenzační kotle až 98%). Emise tuhých látek do ovzduší jsou téměř nulové a emise sloučenin na bázi NO<sub>x</sub> a SO<sub>x</sub> jsou minimální. Související počáteční náklady na energii mají podobnou skladbu jako v případě uhlí (vrty, distribuční systémy, zásobníky plynu, zabezpečovací zařízení).

Mezi hlavní výhody tohoto způsobu vytápění patřila vysoká účinnost užití energie v místě spotřeby (až 98 %), dobrá a jednoduchá regulovatelnost zdrojů a vysoký uživatelský komfort (bezobslužný provoz).

### 3.1.3 Vytápění ostatními neobnovitelnými zdroji energií

Do této skupiny lze zahrnout vytápění ostatními plynnými a kapalnými palivy jako jsou svítiplyn (z bezpečnostních důvodů byl nahrazen zemním plynem), propan-butan, lehké topné oleje (LTO) a těžké topné oleje (TTO). LTO a TTO vznikají jako odpadní produkty při zpracování ropy. Ve srovnání s tuhými palivy a zemním plynem je vytápění těmito palivy nákladnější a méně rozšířené, a proto se jimi nebudu podrobněji zabývat. Společným rysem vytápění propan-butanem a topnými oleji byla nutnost vybudovat u vytápěného objektu dostatečně velký zásobník zdrojového média.

## 3.2 Vytápění obnovitelnými zdroji energie

Zákon č. 406/2000 Sb. vyjmenovává obnovitelné zdroje energie takto: „nefosilní přírodní zdroje energie, jimiž jsou energie větru, **energie slunečního záření, geotermální energie, energie vody, energie půdy, energie vzduchu, energie biomasy**, energie skládkového plynu, energie kalového plynu z čistíren odpadních vod a energie bioplynu.“ [1] Je zřejmé, že potenciál vyjmenovaných zdrojů obnovitelné energie je obrovský. Obnovitelnou energii slunečního záření, větru nebo vody využívali lidé od nepaměti, i když zrovna ne pro vytápění. Obnovitelné zdroje na své plnější využití stále čekají. Vše závisí na schopnosti lidí vyvinout technická zařízení, která budou tento potenciál efektivně využívat.

V následujících částech se zmíním o obnovitelných zdrojích, které lze využít pro vytápění rodinných domů, a které mají souvislost s mojí diplomovou prací - vytápění biomasou a vytápění pomocí tepelného čerpadla.

### 3.2.1 Vytápění biomasou

Vytápění biomasou je koncepčním řešením posledních let. Pojem biomasa zahrnuje širokou škálu rostlinných látek (dřevo, piliny, štěpka, sláma, řepka apod.) různě upravených např. lisováním za vysokého tlaku do tvaru dřevěných briket a pelet. Nejčastěji však máme na mysli kusové dřevo v čerstvém stavu nebo dřevěný odpad.



Obrázek 3 – Pelety [8] a brikety [9]

Na rozdíl od vody, větru nebo sluneční energie je cyklus obnovy u biomasy podstatně delší. U slámy je to jeden rok, u rychle rostoucích dřevin několik let. Produkce bio paliv umožňuje ekonomicky efektivně využít půdu. Z energetického a ekologického hlediska jde vlastně o „akumulovanou“ sluneční energii v procesu fotosyntézy, při které se  $\text{CO}_2$  z ovzduší mění na uhlík (dřevní hmotu) a kyslík ( $\text{O}_2$ ). Při spalování je pak uhlík obsažený v organické dřevní hmotě schopen reagovat s kyslíkem (oxidace). Při této chemické reakci se uvolňuje značné množství tepla. I když v procesu spalování opět vzniká  $\text{CO}_2$ , neuvádí se v bilancích škodlivin vypouštěných do ovzduší, protože stejné množství  $\text{CO}_2$  bylo již předem z ovzduší odebráno. Zásoby dřevní hmoty se prozatím jeví jako dostatečné a „nevyčerpatelné“, ale zatím nevíme, zda aktivní politika podpory tepelné energie vyrobené z biomasy nepovede k masové výstavbě tepláren o vysokém výkonu, podobně jako tomu bylo u fotovoltaických elektráren. Čerstvá biomasa má vysoký obsah vody (až 30 %) a ta výrazně snižuje její výhřevnost. Aby se dosáhlo požadované účinnosti spalování je potřebné biomasu před použitím skladovat tak, aby se průběžně sušila. V žádném případě nesmí být skladována na volném prostranství. Biomasa ve formě briket a pelet je prodávána již ve vysušeném stavu. Cena biomasy se v závislosti na stupni zpracování a obsahu vody pohybuje v rozmezí od 500 do 1700 Kč/t, brikety a pelety mohou být i dražší.

Biomasa představuje alternativní zdroj obnovitelné energie zejména v případech, kdy nelze efektivně provést zateplení budovy, která byla původně vytápěná tuhými palivy, má postavený komín a v okolí domu nevede středotlaký plynovod. Součástí moderních kotlů na biomasu mohou být zásobníky a dávkovače paliva, které umožní automatické plnění kotle až po dobu 24 hodin. Tyto kotle mají možnost plynulé regulace výkonu a dosahují účinnost až 90 %.

## 4 Vytápění domu pomocí tepelného čerpadla

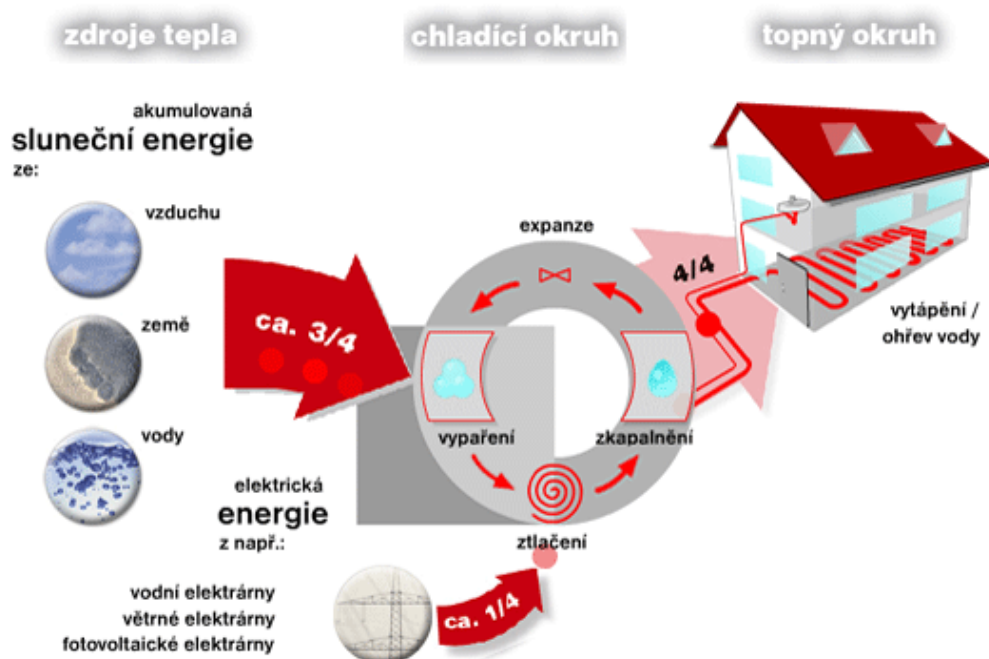
### 4.1 Fyzikální princip tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo je zařízení, které využívá ke své činnosti zákony termodynamiky. Tepelné čerpadlo umí „čerpat“ tepelnou energii z prostředí, které se nachází na nízké teplotě (nizkopotenciálové teplo) a odevzdávat ji v prostředí, které se nachází na vyšší teplotě (vysokopotenciálové teplo). Samotné „čerpání tepla“ přitom nevyžaduje žádnou hnací energii, protože využívá druhou termodynamickou větu, která říká:

Teplo se přenáší z prostředí z vyšší teplotou do prostředí s nižší teplotou.

Přitom není důležité, jak vysoká je vyšší teplota. To znamená, že teplo se může přenášet jak z pracovní látky tepelného čerpadla o teplotě 65-75°C ve výměníku tepla na teplonosnou látku podlahového vytápění o teplotě 35-45°C (vysokoteplotní přenos), tak ze vzduchu o teplotě -5°C v jiném výměníku na pracovní látku tepelného čerpadla o teplotě -10°C (nizkoteplotní přenos). Zdrojové prostředí tepelné energie (které považujeme za „nekonečný“ zdroj energie) se přitom nepatrně ochladí a prostředí, které přijímá teplo, se ohřeje.

Ve vytápěné místnosti pak dochází ještě k dalším přenosům tepla z prostředí s vyšší teplotou, a to z teplonosné látky do vzduchu a ze vzduchu do venkovního prostředí (ztráty prostupem tepla a větráním). Princip činnosti tepelného čerpadla je znázorněn na následujícím obrázku.



Obrázek 4 - Princip činnosti tepelného čerpadla [10]



Podívejme se na všechny kroky popsaného cyklu podrobněji. V tabulce jsou uvedené názvy jednotlivých termodynamických jevů, popis změn probíhajících v daném kroku a orientační hodnoty stavových veličin pracovní látky.

**Tabulka 3- Princip činnosti tepelného čerpadla**

	Termodynamický jev	Popis probíhajících změn	Orientační hodnoty stavových veličin
1	Izotermické vypařování (při konstantní teplotě)	Ve výparníku, kterým je zemní, vodní nebo vzduchový kolektor, dochází k přenosu tepla z obnovitelného zdroje energie do pracovní látky. Pracovní látka přechází do plynného stavu. Její teplota se vyrovná s teplotou okolního prostředí. Ta je ale nižší než je teplota teplotonosné látky topného systému.	$T_{\text{poč}} = T_{\text{kon}}$ $dU = -Q = m \cdot l_T$
2	Adiabatická (izoentropická) komprese	Pracovní látka je stlačena tím se zvýší její teplota.	$p_{\text{poč}} / T_{\text{poč}} = p_{\text{kon}} / T_{\text{kon}}$ $T_{\text{kon}} = 65-75^\circ\text{C}$ ; $p_{\text{kon}} = 20-30$ bar $p_{\text{kon}}; T_{\text{kon}} \gg p_{\text{poč}}; T_{\text{poč}}$ $Q = 0$ ; $dU = -W$ (dodaná energie z neobnovitelného zdroje)
3	Izotermická kondenzace (při stálé teplotě)	Pracovní látka odevzdá ve výměníku teplo teplotonosné látce, ochladí se a zkondenzuje. Přechází do kapalného stavu.	$T_{\text{poč}} = T_{\text{kon}}$ $dU = Q = m \cdot c \cdot dT + m \cdot l_T$
4	Adiabatická (izoentropická) expanze	Pracovní látka prochází škrticím ventilem regulujícím jeho průtok. Pracovní látka za škrticím ventilem expanduje. Tlak i teplota pracovní látky se prudce sníží.	$p_{\text{poč}} / T_{\text{poč}} = p_{\text{kon}} / T_{\text{kon}}$ $T_{\text{kon}} = 3-8^\circ\text{C}$ ; $p_{\text{kon}} = 3-6$ bar $p_{\text{kon}}; T_{\text{kon}} \ll p_{\text{poč}}; T_{\text{poč}}$ $Q = 0$ ; $W = 0$ ; $dU = 0$

\*Znaménka jsou vztažena k pracovní látce tepelného čerpadla. Záporné znaménko znamená úbytek, kladné znamená přírůstek stavové veličiny.

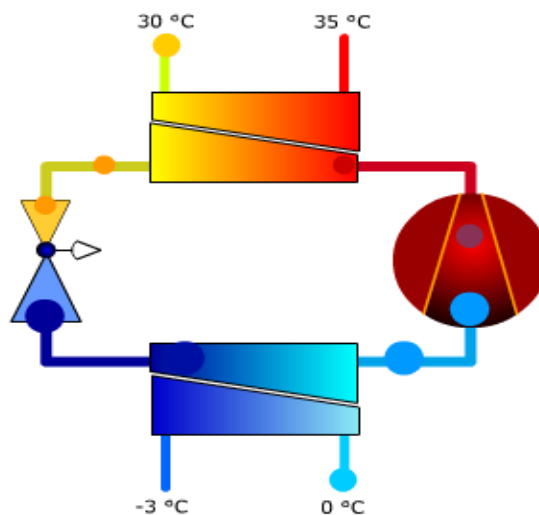
Pracovní látku tvoří jedno, nebo vícesložkové chladivo s bodem varu od  $-10^{\circ}\text{C}$  až do  $-50^{\circ}\text{C}$ . To umožňuje nastavení pracovní teploty tepelného čerpadla do oblasti nízkých teplot. Chladivo (pracovní látka) prochází změnami, při kterých se mění jeho stavové veličiny, kterými jsou tlak  $p$ , objem  $V$ , termodynamická teplota  $T$  a vnitřní energie  $U$ .

Při změnách stavových veličin se mění vnitřní energie pracovní látky na vrub dodaného nebo odebraného tepla a vykonané práce.

Na začátku této kapitoly byly popsány jednotlivé přenosy tepla. Kdybychom pokračovali dále, nakonec by se všechny součásti systému ustálily na teplotě venkovního prostředí, které je na rozdíl od konečných rozměrů, hmotnosti, objemu pracovní látky, teplonosné látky a vnitřního prostředí nekonečnou zásobárnou tepla, protože je zásobováno z jiné nekonečné energetické soustavy, kterou představuje životodárné slunce. Pak by byl přenos tepla ukončen.

Abychom se dostali do výchozí pozice, musíme „přečerpat“ teplo, které nám v důsledku platnosti fyzikálních zákonů kleslo z výchozí teploty  $75^{\circ}\text{C}$  až na teplotu venkovního prostředí  $-15^{\circ}\text{C}$  zpět na úroveň  $75^{\circ}\text{C}$ .

Závěrem uvádím ještě jeden obrázek, který pomocí stínování teplých a studených barev vystihuje přenos tepla z pracovní látky do teplonosné látky a ze zdroje obnovitelné energie do pracovní látky. Vpravo se pak nachází kompresor a vlevo expanzní ventil.



Obrázek 5 – Princip činnosti tepelného čerpadla [12]

## 4.2 Hodnotící parametry tepelného čerpadla

Mezi základní parametry tepelných čerpadel patří elektrický příkon, topný výkon, teplota výstupní vody a hlavně výkonové číslo neboli topný faktor. Důležitým údajem je rovněž typ použitého chladiva (pracovní látky). Výrobce je povinen dodávat všechny tyto údaje společně s výrobkem.

### 4.2.1 Topný výkon a elektrický příkon

Topný výkon tepelné čerpadla je jedním ze dvou nejdůležitějších parametrů tepelného čerpadla, od kterého závisí jeho výběr. Výkon tepelného čerpadla musí být přizpůsoben výši tepelných ztrát budovy způsobených prostupem tepla a větráním a dále musí být schopno pokrýt potřebu energie na ohřev vody.

### 4.2.2 Topný faktor

Výkonové číslo (topný faktor) se mění podle provozních podmínek a vyjadřuje poměr mezi dodaným teplem  $Q$  a elektrickou energií  $E$  pro pohon tepelného čerpadla. [11]

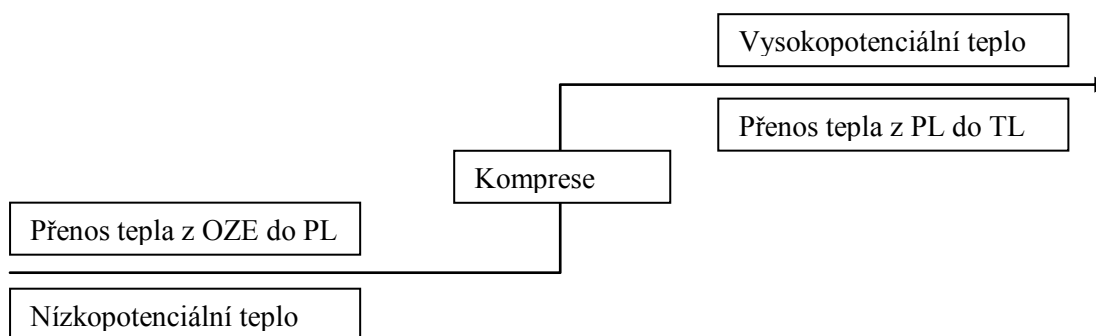
$$\varepsilon = \frac{Q}{E} \quad ( - ) \quad (7)$$

$\varepsilon$       výkonové číslo    ( - )

$Q$       dodané teplo      ( W )

$E$       elektrická energie pro pohon TČ      ( W )

Skutečnost, že se výkonové číslo pohybuje v rozmezí hodnot 1 – 6 znamená, že množství dodaného tepla (energie) je vyšší, než elektrická energie spotřebovaná na pohon kompresoru, který na základě platnosti termodynamických zákonů pro plyny, „přečerpává“ nízkopotenciálové teplo na vysoký potenciál.



**Obrázek 6 – princip čerpání energie na vyšší hladinu**

Topný faktor závisí zejména od podmínek provozu. Čím nižší bude rozdíl mezi teplotou ve výparníku a teplotou kondenzátu, tím nižší bude topný faktor. To znamená, že v průběhu celého roku se nám topný faktor může měnit. Oproti prvním tepelným čerpadlům došlo k řadě inovací a nové druhy chladiva umožnily vyvinout čerpadla, která mohou pracovat až do  $-20^{\circ}\text{C}$  s garantovanou minimální hodnotou topného faktoru. Další parametr, který ovlivňuje topný faktor je účinnost kompresoru.

#### 4.2.3 Výkonové přizpůsobení

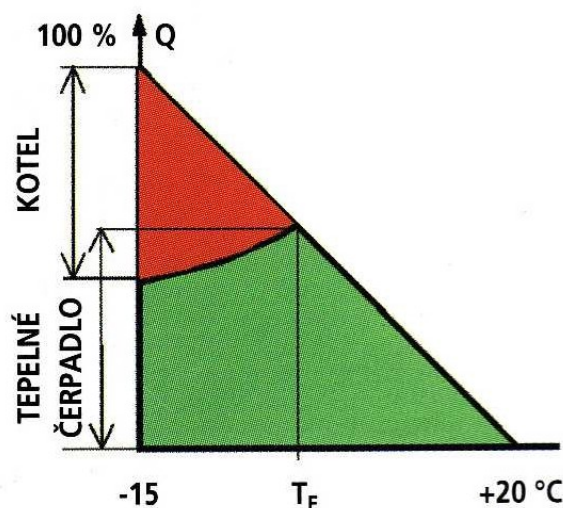
Do této kapitoly jsem zařadil teoretický rozbor různých režimů využití tepelných čerpadel v závislosti na poměru mezi ztrátami budovy resp. potřebou energie v budově a instalovaným výkonem tepelného čerpadla. V praxi můžou nastat v podstatě dva možné stavy:

- a) Výkon tepelného čerpadla je vyšší nebo rovný energetickým ztrátám budovy
- b) Výkon tepelného čerpadla je nižší než energetické ztráty budovy (průměrné resp. ve špičce)

V prvním případě bude celá energetická potřeba (100%) pokryta tepelným čerpadlem, a to i při velmi nízkých venkovních teplotách. Po větší část roku (až 90% dní v topném období) přitom nebude zdroj využíván na plný (optimální) výkon. Tepelné čerpadlo bude pracovat v monovalentním režimu. Je zřejmé, že pořizovací cena tepelného čerpadla bude záviset na jeho výkonu, a tak bude část investic vynaložena neefektivně, dá se říct zbytečně. Před několika léty bylo možné za těchto podmínek provozovat pouze tepelná čerpadla země-voda nebo voda-voda. Technický pokrok umožnil do této oblasti rozšířit rovněž použití tepelných čerpadel vzduch-voda.

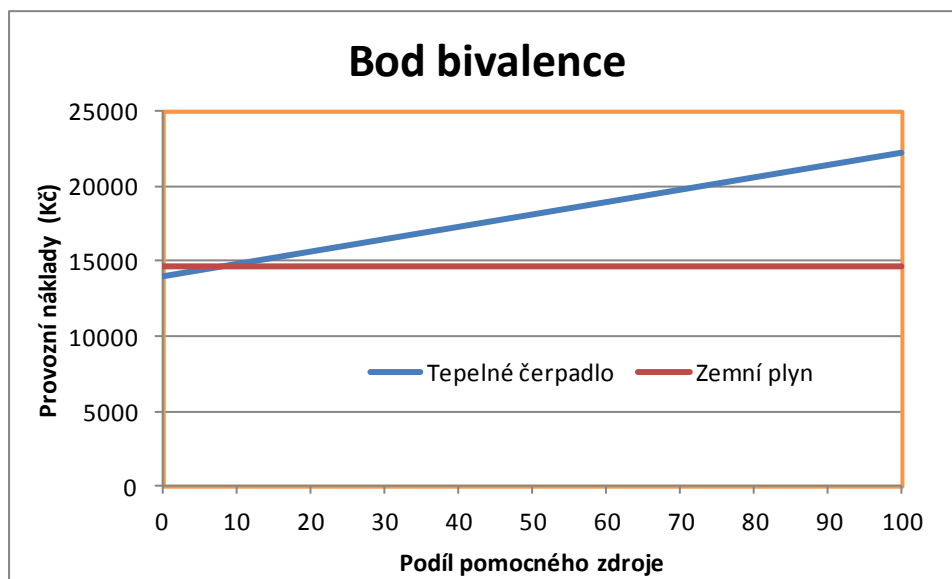
V druhém případě nastane opačný případ, a to, že po dobu 0-100% dní v topném období, bude nutné pokrýt chybějící výkon tepelného čerpadla jiným zdrojem tepla. Za těchto podmínek bude tepelné čerpadlo pracovat v bivalentním režimu. Pomocným zdrojem tepelné energie přitom může být elektrický přímotop, který může být, resp. je součástí tepelného čerpadla. V tomto případě se jedná o monoenergetický provoz a umožňuje dosáhnout optimální úroveň investičních a provozních nákladů. Alternativně lze použít nezávislý plynový kotel nebo zdroj na tuhá paliva. Většinou se jedná o původní zdroj tepelné energie. Velmi často se pro tento účel využívají krby. Umožňují navodit příjemnou atmosféru při posezení v rodinném kruhu nebo s přáteli a současně pomáhají překlenout nedostatečný výkon tepelných čerpadel v době extrémně nízkých teplot.

Teplota, při které je nutné spustit pomocný zdroj tepelné energie se nazývá bodem (teplotou) bivalence. Čím je tato teplota vyšší, tím více neobnovitelné (mnohem dražší) energie bude nutné dodat do budovy. Princip paralelního bivalentního provozu je znázorněn na obrázku.



Obrázek 7 - Paralelně bivalentní provoz [13]

V rámci teoretického rozboru jsem provedl porovnání provozních nákladů na vytápění budovy, jejíž celková spotřeba energie odpovídá spotřebě energie v nástavbě rodinného domu. Jako referenční byly použité náklady na vytápění zemním plynem. Jednotková cena zemního plynu byla převzata z ceníku jednoho z distributorů – ČEZ, a.s. a vychází na 1,34 Kč/kWh a 193 Kč/měsíc. Uvedené ceny jsou včetně DPH ve výši 21%. Pro vytápění budovy tepelným čerpadlem jsem spočítal provozní náklady za podmínek, kdy bude 0; 10; 20; .... 100% energie dodáno z bivalentního zdroje (elektrický přímotop). Obě veličiny jsem vynesl do grafu. V místě, kde se obě křivky protínají, se nachází bod bivalence. V režimu provozu vlevo od tohoto bodu budou náklady na vytápění a ohřev vody nižší, než by byly v případě referenčního zdroje. V opačném případě se více oplátí použít pro vytápění zemní plyn, tj. použít způsob vytápění navržený v technické zprávě. Do výpočtu ročních provozních nákladů byl zahrnutý rovněž vliv zvýšené pořizovací ceny tepelného čerpadla vyššího výkonu, a to ve výši 5% předpokládaného navýšení pořizovací ceny. Navýšení se lineárně snižovalo na nulu pro případ, kdy se bude tepelné čerpadlo využívat pouze na ohřev teplé vody a 100% potřeby energie na vytápění bude pokryto pomocným zdrojem.



Obrázek 8 - Bod bivalence

#### 4.2.4 Regulace tepelných čerpadel

Jednou z nesporných výhod aktuálně vyráběných tepelných čerpadel je jejich integrovaný systém řízení. Součástí dodávky tepelného čerpadla je řídicí systém, který umožňuje uživateli nastavit vlastní topnou křivku pomocí čtyř dvojic venkovních teplot a teploty teplosnosné látky. Tepelné čerpadlo pak automaticky reguluje chod kompresoru a průtok pracovní látky v uzavřeném okruhu tepelného čerpadla tak, aby byl dosažen maximální topný faktor. Ostatní funkce regulačního systému přesahují rámec zadání diplomové práce.

#### 4.2.5 Akumulace tepla

Dalším parametrem, který ovlivňuje efektivitu použití tepelných čerpadel, je možnost akumulace tepla. Akumulace se využívá nejčastěji k překlenutí špičkových odběrů energie na ohřev teplé užitkové vody v období nízkých venkovních teplot, ale také aby se omezilo časté spínání kompresoru při jeho nízké spotřebě. Tím se prodlužuje životnost tepelného čerpadla. Velikost zásobníku se doporučuje volit v poměru zhruba 20 litrů na 1kW výkonu tepelného čerpadla. Příliš velké předimenzování zásobníku se nedoporučuje, jelikož může mít za následek větší provozní náklady. Předpokládejme, že uživatel rodinného domu realizuje jednorázový odběr většího množství teplé vody. Bez řídicího systému by tepelné čerpadlo začalo okamžitě dodávat energii potřebnou na ohřev teplé vody na vrub vytápění. Zásobník teplé vody umožňuje časově přizpůsobit výkon tepelného čerpadla tak, že nejdříve pokryje potřebu tepla na vytápění a větrání a postupně bude dohřívat teplou vodu v akumulačním zásobníku. Akumulační zásobník lze v principu použít jak pro topnou vodu, tak pro teplou užitkovou vodu. U solárních kolektorů využíváme akumulaci z důvodu nepravidelného přispívání sluneční energie a můžeme ji účelně využívat ve spolupráci s dalším zdrojem určeným k vytápění nebo k přípravě teplé užitkové vody (TUV).

### 4.3 Druhy tepelných čerpadel

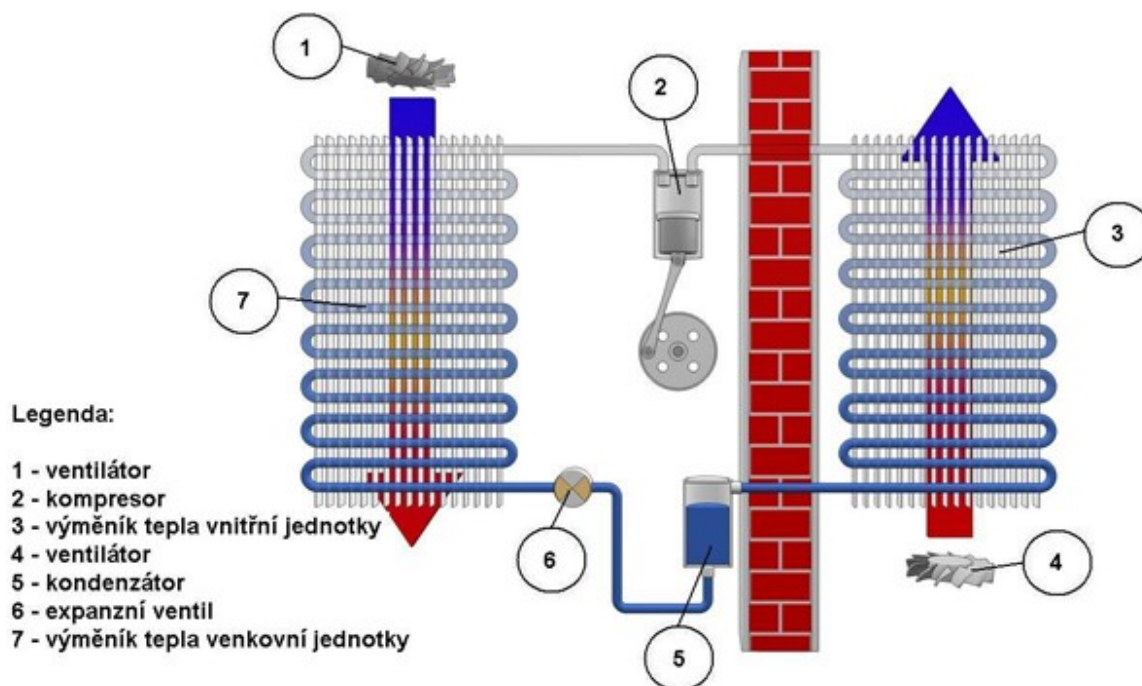
V praxi rozlišujeme několik druhů tepelných čerpadel. Jednotlivé druhy rozlišujeme podle kombinace dvou prostředí, z nichž první označuje přírodní zdroj tepla - odkud čerpá pracovní látka obnovitelnou energii a druhé slovo označuje, jaké teplotnosné látky se tato energie odevzdá. V další části jsou popsány jednotlivé druhy tepelných čerpadel a jejich využití v praxi.

#### 4.3.1 Tepelná čerpadla vzduch - vzduch

Tepelné čerpadlo vzduch - vzduch odebírá obnovitelnou energii z venkovního vzduchu, jehož teplota se v průběhu roku mění od  $-30^{\circ}\text{C}$  po  $+30^{\circ}\text{C}$ . Extrémně nízkých teplot (nižších jako  $-15^{\circ}\text{C}$  je přitom v průběhu roku méně než 20). Teplo získané ze vzduchu je předáváno teplotnosné látce, kterou je opět vzduch, v teplovzdušném výměníku. Teplý vzduch lze využít pro klimatizaci nebo teplovzdušné vytápění. V tomto případě se předpokládá, že vytápěná budova byla předem projektována pro podlahové teplovzdušné vytápění. Přívod teplého vzduchu ze stropu nebo ze stěn není optimální.

Tepelná čerpadla vzduch-vzduch se používají zejména pro klimatizaci, a to jak v zimním, tak letním období. Zatímco v zimě větrací vzduch ohřívají, v létě ho zase pomocí „obráceného chodu“ chladí. Jedním ze zdrojů primární energie je odpadní teplo obsažené v použitém vzduchu.

Princip zapojení tepelného čerpadla vzduch-vzduch je patrný z následujícího obrázku.



Obrázek 9 - Princip funkce tepelného čerpadla vzduch – vzduch [16]

Správná ventilace, tedy zcela hygienicky nezávadný vzduch uvnitř budovy, je základním požadavkem pro zdravé domácí prostředí. Při řízeném větrání s použitím tepla, které je obsaženo ve vypouštěném vzduchu (tzv. rekuperace tepla) se využívá energie obsažená ve ventilačním vzduchu, který bychom jinak bez užitku vypustili ven. Navíc při rekuperaci využíváme také teplo generované uvnitř budovy svítidly, osobami či domácími spotřebiči.

Činnost tepelného čerpadla vzduch-vzduch pro rekuperaci je znázorněna na Obrázek 10.



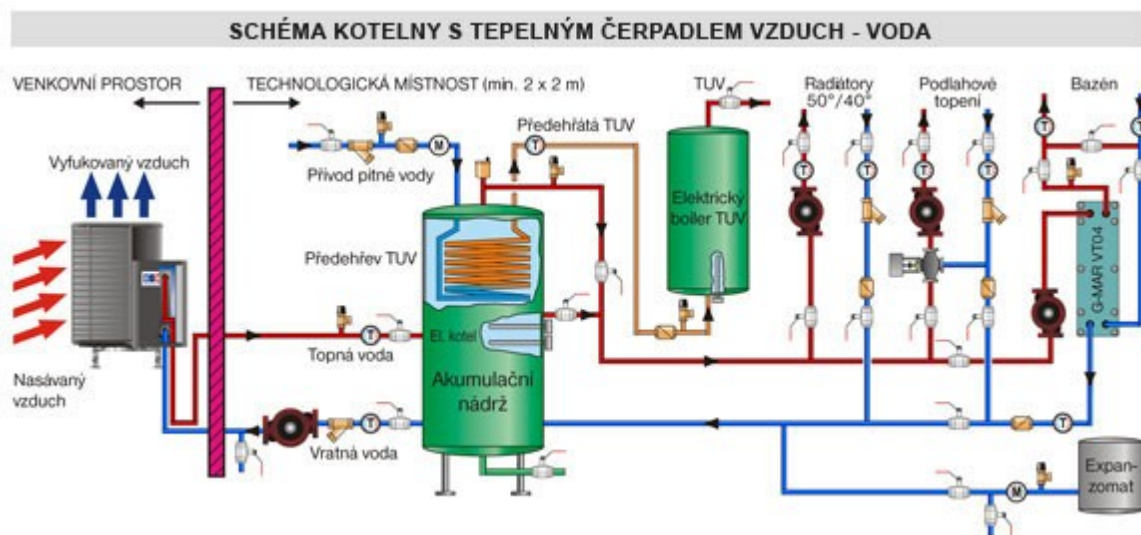
Obrázek 10 – Princip rekuperace [15]

#### 4.3.2 Tepelná čerpadla vzduch – voda

Tepelná čerpadla vzduch voda jsou jedny z nejpoužívanějších tepelných čerpadel. Obnovitelnou energii získává tepelné čerpadlo opět ze vzduchu. Na vnější straně vytápěného objektu se nachází venkovní jednotka. Pracovní látku tvoří chladivo, jehož bod varu je hluboko pod bodem mrazu ( $<< 0^{\circ}\text{C}$ ).

Tepelná čerpadla vzduch-voda se používají jak pro vytápění, tak pro ohřev teplé vody. Princip zapojení tepelného čerpadla vzduch-voda je patrný z následujícího obrázku. Schéma obsahuje okruh umožňující napojení bazénu za účelem využití instalovaného výkonu mimo topné období.





Obrázek 11 - Tepelné čerpadlo vzhud – voda [16]

Mezi velké výhody tohoto systému patří snadná instalace, nemusí se provádět žádné nákladné zemní práce (vrty, pokládání zemního nebo vodního kolektoru), které jinak zvyšují počáteční investice. Díky moderní konstrukci, vhodné pracovní látce (chladiivo) mohou pracovat po celý rok i při nízkých teplotách, a to až do  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  s požadovaným minimálním topným faktorem.

Nevýhodou je značné kolísání venkovní teploty v průběhu roku (topného období) a tím i topného faktoru tepelného čerpadla. Pokud teplota venkovního vzduchu roste, zvyšuje se účinnost tepelného čerpadla. S poklesem teploty účinnost klesá.

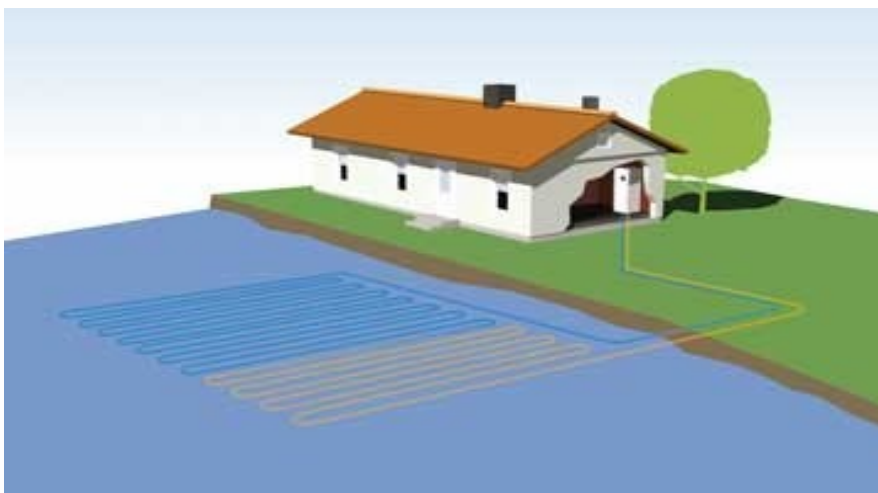
### 4.3.3 Tepelná čerpadla voda – voda

Tepelná čerpadla voda-voda získávají obnovitelnou energii z vody. Zdrojem může být vodní tok, vodní nádrž, rybník nebo dvě nezávislé studny. Z tohoto hlediska se dají tepelná čerpadla voda – voda rozdělit na využívající povrchovou vodu a využívající podzemní vodu.

#### 4.3.3.1. Tepelná čerpadla voda – voda využívající povrchovou vodu

Celý systém pracuje na podobném principu jako tepelné čerpadlo země – voda s plošným kolektorem, pouze umístění kolektorového potrubí se neprovádí pod zem, ale pokládá se na dno rybníků, jezer nebo jiných vodních ploch či toků (na dně nádrží je po celý rok stejná teplota kolem  $4^{\circ}\text{C}$ ). Teplota říční vody je v zimním období velmi nízká a tepelné čerpadlo by mohlo zamrznat, z toho důvodu je polyethylenové potrubí, které je umístěno na dně příslušného vodního toku naplněno nemrznoucí směsí.

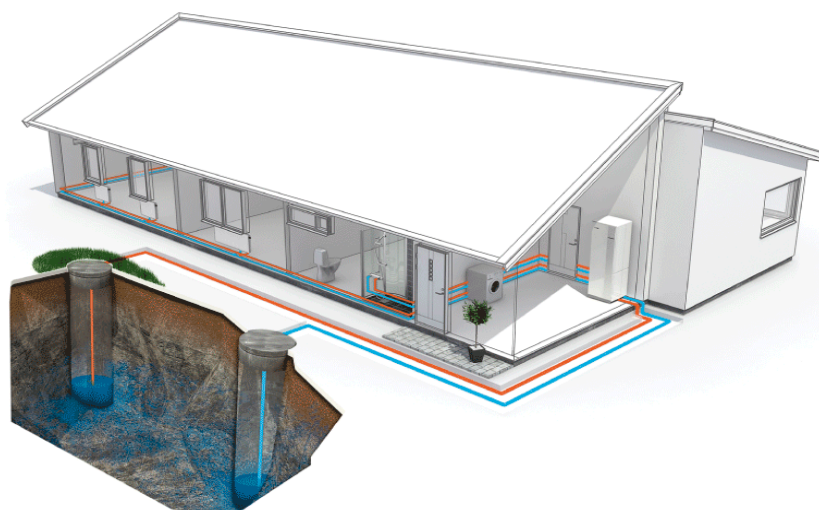
Tento typ tepelných čerpadel není v praxi moc využíván, jelikož se většina objektů nenachází v blízkosti vodních ploch a toků, a pokud ano nemusí majitelé resp. správci rybníků a řek souhlasit s umístěním kolektoru na dno příslušné vodní plochy, toku. Oproti tomu má tento systém nízké počáteční náklady spojené s vybudováním kolektoru a nízké provozní náklady.



Obrázek 12 - Tepelná čerpadla voda - voda využívající povrchovou vodu [18]

#### 4.3.3.2. Tepelná čerpadla voda – voda využívající podzemní vodu

Využívají nízko potenciální energii uloženou v podzemní vodě, která má stabilní teplotu kolem 10 °C v průběhu celého roku, někdy dokonce i vyšší. U tohoto systému získáváme teplo z vody, která je ve studni. K provozu a správné funkci tohoto systému potřebujeme minimálně 2 studny. První studna, je tzv. topná, která představuje nízko potenciální zdroj tepla. V druhé vsakovací studni se vypouští ochlazená voda, ze které jsme odčerpali teplo zpět do země. [7]



Obrázek 13 - Tepelná čerpadla voda - voda využívající podzemní vodu [19]

#### 4.3.4. Tepelná čerpadla země – voda

Tepelná čerpadla země – voda získávají tepelnou energii ze zemské půdy, nebo ze spodních vod, kterou předávají topné soustavě prostřednictvím vody obíhající v sekundárním okruhu.

Jsou to nejstabilnější tepelná čerpadla, která jsou schopna při správném navržení poskytnout dostatečné množství energie během celého roku. Mají však obrovskou nevýhodu a tou jsou nákladné zemní práce, které jsou nutné při jejich instalaci. Podle využívání energie z primárního okruhu se mohou dělit na provedení s hloubkovým vrtem nebo s plošným kolektorem.

#### 4.3.4.1. Tepelná čerpadla země – voda využívající hloubkový vrt

Tepelná čerpadla země-voda získávají obnovitelnou energii ze země. Zdrojem může být jeden nebo i několik hloubkových vrtů (50 až 150 m). Na 1 kW výkonu tepelného čerpadla je za potřeby 12 – 18 m hluboký vrt. Pro 10 kW tepelné čerpadlo tomu odpovídá 1 vrt hluboký 140 m, nebo 2 vrty po 70 m. Výhodou hloubkového vrtu je stálá teplota obnovitelného zdroje energie v průběhu celého roku (přibližně 10°C). [7]

Zdrojem energie může být i zemní kolektor uložený minimálně v hloubce 1 m (půda v této hloubce již nezamrzá). V tomto případě musí mít zemní kolektor dostatečnou teplosměnnou plochu. Oproti geotermálnímu vrtu má nižší topný faktor a teplota zeminy není během topného období tak stabilní, jako tomu je u hlubinného vrtu.

Tento druh tepelných čerpadel má rovněž vysoký topný faktor, ale opět není v praxi moc využíván, protože vyžaduje vlastní zatím ještě neobdělávaný pozemek nebo louku, nebo přinejmenším možnost dojezdu vrtné soupravy na pozemek. Provedení vrtu je finančně velmi náročné a výrazně navýší počáteční investiční náklady.

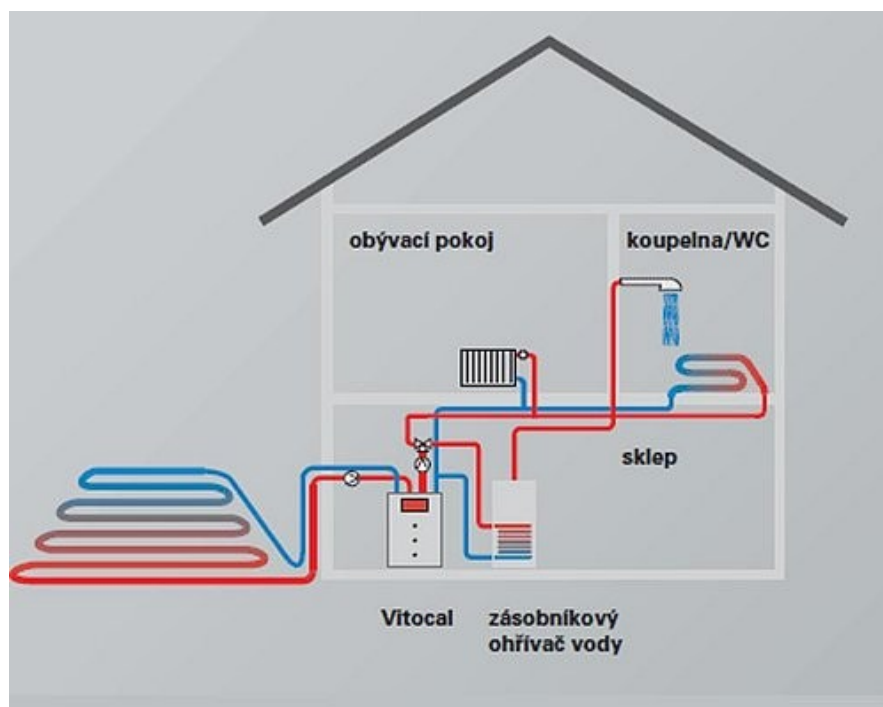


Obrázek 14 - Tepelná čerpadla země - voda využívající hloubkový vrt [20]

#### 4.3.4.2. Tepelná čerpadla země – voda s plošným kolektorem

Tento typ tepelného čerpadla využívá naakumulovanou sluneční energii uloženou pod zemským povrchem, kde je položeno polyethylenové potrubí, které je naplněno nemrznoucí směsí, tzv. zemní kolektor. Polyethylenové potrubí se ukládá minimálně 1 m pod zemí (půda v této hloubce již nezamrzá) po ploše pozemku. Pro položení primárního okruhu je za potřeby dlouhá a náročná práce,

ale v porovnání s geotermálními vrty to vyjde podstatně levněji. Oproti geotermálnímu vrtu má nižší topný faktor a navíc se teplota zeminy během roku velmi často mění.



Obrázek 15 - TČ země - voda s plošným kolektorem a 1 zásobníkem TUV [21]

## 5. Vliv topných systémů na ekologii a ekonomii provozu.

Od záměru investora po nastěhování do nového nebo rekonstruovaného rodinného domu je poměrně dlouhá cesta, na které je nutné překonat několik vzájemně se podmiňujících kroků. Při zpracování a optimalizaci představ investora je potřebné brát do úvahy mnoho různých aspektů, jako jsou účel stavby, architektonický vzhled, konstrukční provedení stavby, energetické požadavky dané technickými normami a legislativou, vyjádření dotčených účastníků stavebního řízení, bezpečnostní aspekty. Velmi důležitou součástí projektové dokumentace je řešení technického systému vytápění a ohřevu teplé vody.

V rámci rozboru problematiky uvedené v názvu kapitoly jsem provedl porovnání ekonomických a ekologických parametrů pěti typů technických systémů na vytápění a ohřev teplé vody. U každého systému jsem porovnával počáteční investiční náklady a provozní náklady po dobu 20-ti let. Obě hodnotící kritéria mají kvantitativní charakter. Jako pomocné hodnotící kritérium jsem si zvolil jedno kvalitativní kritérium spočívající ve slovním popisu výhod případně nevýhod daného topného systému.

**Tabulka 4 Přehled pořizovacích a provozních nákladů**

#	Položka		Hnědé uhlí	Elektřina	Zemní plyn	Biomasa	Tepelné čerpadlo
1	Pořizovací náklady	tis.Kč	20	20	50	90	150
2	Provozní náklady - palivo, energie	tis.Kč/r	214	733	433	123	200

V případě hodnocení dopadů na životní prostředí, jsem porovnával množství emisí tuhých látek, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO a CO<sub>2</sub> do ovzduší. V souladu s vyhláškou č.480/2012 Sb. se množství emisí uvádí v tunách/rok. Z přiložené tabulky vyplývá, že u zdroje pokrývajícího potřebu tepelné energie v řádu 40 GJ/r jsou emise všech znečišťujících látek tak malé, že jsou ve všech buňkách uvedené nuly. Výjimku tvoří emise CO<sub>2</sub>. Nejvyšší zátěž pro životní prostředí představuje vytápění elektrickým proudem a vytápění hnědým uhlím (tuhým palivem). Poměrně vysoká hodnota u tepelného čerpadla je způsobena tím, že pohon kompresoru je zajištěn rovněž elektrickou energií. V případě spalování biomasy se CO<sub>2</sub> sice produkuje, ale nezapočítává se do bilance, protože stejné množství CO<sub>2</sub> bylo z prostředí odebráno při růstu dřevní hmoty.

Tabulka 5 Emise různých zdrojů energie

	Způsob vytápění				
Znečišťující látka	Hnědé uhlí	Zemní plyn	Elektřina	Tepelné čerpadlo	Biomasa
	t/r	t/r	t/r	t/r	t/r
<b>Tuhé látky</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>SO<sub>2</sub></b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>NO<sub>x</sub></b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>CO</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>7,7</b>	<b>2,5</b>	<b>12,9</b>	<b>4,3</b>	<b>0,0</b>

Kromě emisí se u zdrojů energie, podle citované vyhlášky hodnotí celková spotřeba energie a celková spotřeba neobnovitelné energie. Celková spotřeba neobnovitelné energie se určí jako součin celkové energie a faktoru neobnovitelné energie daného energonositele. K významnému snížení spotřeby neobnovitelné energie v rodinném domě by došlo v případě, kdyby se část elektrické energie pro pohon tepelného čerpadla vyrobila ve fotovoltaických panelech (viz Obrázek 4), protože faktor neobnovitelné energie získané z okolního prostředí je rovný nule.

Pro stanovení hodnot jednotlivých hodnotících kritérií jsem zvolil stupnici, kde 1 znamená nejlepší vlastnosti a 5 znamená nejhorší hodnocení. Metoda hodnocení byla stanovena před vyčíslením jednotlivých ukazatelů. V praxi určuje hodnotící kritéria investor. V případě poskytnutí dotací ze státních programů podpory může kritéria určit například Státní fond životního prostředí.

Tabulka 6 Hodnocení zdrojů energie podle vlivu na ekonomii provozu a ekologii

	Pořizovací náklady	Provozní náklady (20 let)	Obsluha a údržba systému	Dopad na životní prostředí	Celkem
Tuhá paliva	1	2	5	5	50
Zemní plyn	2	3	1	2	12
Elektřina	1	5	1	5	25
<b>Tepelné čerpadlo</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>5</b>
<b>Biomasa</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>6</b>

Z tabulky vyplývá, že nejlepší hodnocení vychází pro oba obnovitelné zdroje. Ve prospěch tepelného čerpadla mluví faktor uživatelského komfortu, odpadá u něho manipulace s palivem, čištění topeniště, nákup biomasy. Nevýhodou je pouze vyšší pořizovací cena.

V kombinaci s plynovým vytápěním (pravděpodobně je již instalované ve stávající zámečnické dílně) jako bivalentním zdrojem představuje tepelné čerpadlo nejlepší variantu technického systému pro zajištění vytápění rodinného domu.

## 6. Praktická část

### 6.1. Popis zadaného objektu

Předmětem výpočtů tepelných ztrát a návrhu systému vytápění je rodinný dům, který je navržen jako nadstavba zámečnické dílny. Součástí zadání diplomové práce je technická zpráva a výkresová dokumentace.

Původní zámečnická dílna má obdélníkový tvar o velikosti 9,04 x 6,20 m. Zámečnická dílna byla postavena formou zděné konstrukce s rovnou střechou. Nástavba bude provedena nad stávající stropní konstrukcí. Nástavba bude založena na betonových patkách a dřevěných nosných sloupech po obvodu stávající dílny. Stávající objekt zámečnické dílny nebude plnit funkci základové nosné konstrukce. Celkový počet sloupů bude 28, každý o rozměrech 16 x 16 cm. Střecha nástavby bude sedlová, symetrická se sklonem 30° ve směru jihovýchod-severozápad (šikmá část střechy bude otočená na jihozápad).

Obvodové konstrukce jsou tvořené sendvičovou stěnou. Ta bude tvořena dřevěnou rámovou konstrukcí (hranoly 160 x 160 mm), která bude vyplněna tepelnou izolací z minerální vlny o tloušťce 160 mm. Z vnější strany bude polopropustná parozábrana, větrací mezera 40 mm a dřevěné obití z prken o tl. 20 mm. Z vnitřní strany bude parozábrana, OSB deska tloušťky 10 mm a obklad ze sádkartonových desek.

Výplně otvorů budou osazené plastovými 5-ti komorovými okny v provedení s dvojskly a koeficientem prostupu tepla 1.1 W/m<sup>2</sup>K. Rozměry oken a dveří jsou uvedené v projektové dokumentaci v tabulce oken a dveří.

Strop bude tvořen dřevěnými trámy 160 x 160 mm, na které budou přibity dřevěné desky o tloušťce 20 mm. Na toto podbití budou položeny desky z minerální vlny ORSILUM o tloušťce 200 mm.

Podlahy budou dřevěné na nosných dřevěných trámech 160 x 160 mm. Podlaha bude rovněž tepelně izolovaná deskami z minerální vlny ORSILUM o tloušťce 160 mm.

#### 6.1.1. Technická zpráva objektu

Technická zpráva obsahuje celkem pět částí. V první části je popsáno architektonické a dispoziční řešení nadstavby zámečnické dílny. V druhé části je popsán stávající stav a hlavní konstrukční prvky nadstavby, zdravotníka, vytápění a elektroinstalace. Dle technické zprávy tvoří požárně bezpečnostní řešení a průkaz energetické náročnosti budovy samostatné přílohy, které nejsou součástí zadání diplomové práce. Poslední část technické zprávy tvoří 7 výkresů základů, půdorysů 1.NP a 2.NP, podkroví, stropu nad 2.NP příčný řez, pohledy a tabulka oken a dveří (Příloha

## 6.2. Seznámení s programem PROTECH

K výpočtu tepelných ztrát objektu jsem si zvolil komerčně dostupný program firmy PROTECH s modulem “Tepelný výkon”. Tento program je v oblasti hodnocení energetické náročnosti budov a technických zařízení budov jedním z nejrozšířenějších programů u nás. Všechny výpočty provádí v souladu s platnou legislativou a technickými normami.

Postup výpočtu spočívá ve vyplnění vstupních údajů, které jsou rozdělené do třech základních bloků. V prvním bloku se zadávají identifikační údaje o vlastníkovi stavby, osobě provádějící výpočet a umístění stavby. Česká republika je rozdělena na několik klimatických oblastí podle vnějších výpočtových teplot ( $-12^{\circ}\text{C}$ ,  $-15^{\circ}\text{C}$ ,  $-18^{\circ}\text{C}$  atd.). Pro Ostravu a zadaný rodinný dům byla zvolena teplota  $-15^{\circ}\text{C}$ . Roční průměrná venkovní teplota vychází pro tuto oblast  $5,2^{\circ}\text{C}$ . Kromě toho lze do programu zadat až pět pomocných výpočtových teplot v nevytápěných prostředích za konstrukcemi.

V druhém bloku se vyplňují údaje o konstrukcích tvořících obálku budovy. U každé konstrukce je potřebné nejdříve zadat identifikační údaje, kterými jsou 1) kód konstrukce (např.: SO – stěna ochlazovaná, DO – dveře ochlazované, OZ – okno zdvojené, PDL – podlaha, STR – strop atd.), 2) slovní popis konstrukce (nosná obvodová stěna, okno  $90 \times 120$  cm apod.) a 3) způsob zadání konstrukce. Pro každou konstrukci lze vybrat jednu ze čtyř možností, a to přímé zadání koeficientu prostupu tepla, výběr konstrukce z katalogu, výběr konstrukce z jiné zakázky a zadání konstrukce pomocí modulu TOB – Tepelná ochrana budov. V rámci diplomové práce jsem pro neprůsvitné konstrukce (stěna, podlaha a strop) využil poslední z uvedených možností. To znamená, že u každé konstrukce jsem postupně navedl materiály a jejich tloušťky, z kterých je konkrétní konstrukce poskládaná. Program má vlastní katalog stavebních materiálů. Konstrukce se zadávají z vnitřní části směrem k vnějšímu líci budovy. U každé konstrukce lze navést dvě varianty. To se nejčastěji využívá pro porovnání stávajícího stavu a stavu po realizaci úsporných opatření, nebo pro porovnání dvou návrhů skladeb konstrukcí. Dalším důležitým parametrem je teplota za konstrukcí, a to podle toho, zda se jedná o stěnu, která sousedí s venkovním prostorem, nevytápěnou místností nebo zeminou. Program na základě zadání spočítá koeficient prostupu tepla konkrétní konstrukce a porovná ji s dvojicí hodnot  $U_{N,20}$  – požadovaná hodnota a  $U_{rec,20}$  - doporučená hodnota, uvedených v ČSN 73 0540-3:2011. V případě nerovnorodých konstrukcí (např. rámy u oken a dveří, dřevěné trámy u nosných stěn a stropů) program umožňuje spočítat ekvivalentní (přepočtené) hodnoty koeficientů prostupu tepla s přihlédnutím na tyto vlivy. V rámci diplomové práce jsem tyto vlivy do výpočtu tepelných ztrát nezahrnul. Využil jsem jinou možnost korekce, a to formou započtení přírážky na tepelné mosty ve výši 5%.

V třetím bloku se do programu zadávají jednotlivé místnosti a v rámci těchto místností rozměry a typy konstrukcí, které tvoří obálku budovy. Konstrukce se vybírají z „katalogu“ vytvořeného pro danou budovu v předchozí sekci. Nejdříve je opět nutné zadat jejich identifikační



údaje, kterými jsou číslo a název místnosti. Mezi parametry ovlivňující výpočet patří příslušnost místnosti k vytápěné zóně, geometrický tvar místnosti, vnitřní výpočtová teplota, orientace vzhledem ke světovým stranám, intenzita výměny vzduchu a tepelné zisky.

Výstupem programového modulu „Tepelný výkon“ je především výpočet tepelných ztrát prostupem tepla konstrukcemi a větráním. Program nabízí možnost výběru několika druhů výstupních sestav, a to podle konstrukcí, místností, zón apod. Dalšími výstupy jsou např. potřeba energie na krytí ztrát prostupem tepla a vytápěním. V rámci samostatného bloku lze provést výpočet potřeby energie na ohřev teplé vody. Zpracování Průkazu energetické náročnosti budovy vyžaduje zakoupení samostatného modulu.

V rámci diplomové práce jsem provedl výpočet měrných tepelných ztrát postupem, který je uvedený v normě ČSN 73 0540-2:2011. Celkové měrné ztráty se určí jako součet součinů **koeficientu prostupu tepla  $i$ -tého** typu konstrukce obálky budovy (svislé neprůsvitné konstrukce, svislé průsvitné konstrukce, podlahy a stropy), jejich **plochy** a **redukčního činitele** a celkové plochy obálky budovy. Takto vypočtenou měrnou ztrátu objektu jsem zvýšil o vliv tepelných mostů ve výši 5%. Tepelné mosty zohledňují skutečnost, že ve skutečnosti v místě styku dvou konstrukcí jsou tepelně izolační vlastnosti vždy horší, než je uvedeno ve výpočtovém modelu. Měrné ztráty jsem pak vynásobil rozdílem vnitřní a venkovní výpočtové teploty.

Výpočet tepelného výkonu jsem provedl podle normy ČSN EN 12831 – Výpočet tepelného výkonu [24].

Takto vypočtené tepelné ztráty jsem porovnal s výpočtem provedeným pomocí programového modulu „Tepelný výkon“. Z porovnání vyplývá velmi dobrý souběh hodnot vypočtených zjednodušeným způsobem s hodnotami, do kterých jsou započtené všechny normativně požadované korekce.

### 6.2.1. Popis konstrukcí objektu

Obálku nástavby rodinného domu tvoří celkem pět druhů konstrukcí: svislá obvodová stěna, okna dvou rozměrů, a to 900x1200 mm a 600x600 mm, dveře dvou rozměrů, a to 800 x 2020 mm a 900 x 2020 mm, podlaha a strop. Skladby jednotlivých konstrukcí jsou uvedené v následujících tabulkách.

Tabulka 7 – Výpočet průměrného koeficientu prostupu tepla pro SO1

Č.	Vrstva	Tloušťka	$\lambda$	R	U	Poznámka
		[mm]	[W/mK]	[m <sup>2</sup> K/W]	[W/m <sup>2</sup> K]	
0	Prostup tepla - vnitřní povrch			0,111		
1	Sádrokarton	10	0,22	0,045		
2	OSB deska	20	0,085	0,235		
3	Minerální vlna	160	0,036	4,444		
4	Vzduchová mezera	40	0,28	0,143		
5	PE fólie	2	0,35	0,006		
6	Dřevo měkké	20	0,18	0,111		
0	Prostup tepla - vnější povrch			0,050		
7	Korekční člen $\Delta U$				0,02	
	<b>Obvodová stěna SO1</b>	<b>252</b>		<b>5,146</b>	<b>0,214</b>	Při tl.180 mm bude U=0,195

Tabulka 8 - Výpočet průměrného koeficientu prostupu tepla pro PDL1

Č.	Vrstva	Tloušťka	$\lambda$	R	U	Poznámka
		[mm]	[W/mK]	[m <sup>2</sup> K/W]	[W/m <sup>2</sup> K]	
0	Prostup tepla - vnitřní povrch			0,111		
1	Dřevěná podlaha	20	0,173	0,116		
2	Minerální vlna	200	0,036	5,556		
3	PE fólie	1	0,35	0,003		
4	Dřevo měkké	20	0,173	0,116		
0	Prostup tepla - vnější povrch			0,050		
5	Korekční člen $\Delta U$					
	<b>Podlaha PDL1</b>	<b>241</b>		<b>5,951</b>	<b>0,168</b>	

Tabulka 9 - Výpočet průměrného koeficientu prostupu tepla pro STR1

Č.	Vrstva	Tloušťka	$\lambda$	R	U	Poznámka
		[mm]	[W/mK]	[m <sup>2</sup> K/W]	[W/m <sup>2</sup> K]	
0	Prostup tepla - vnitřní povrch			0,111		
1	Dřevěný záklop	20	0,18	0,111		
2	Minerální vlna	200	0,036	5,556		
3	Dřevěné podbití	20	0,18	0,111		
0	Prostup tepla - vnější povrch			0,050		
4	Korekční člen $\Delta U$				0,02	
	<b>Strop STR1</b>	<b>240</b>		<b>5,939</b>	<b>0,188</b>	

### 6.2.2. Popis místností

V dalším kroku bylo potřebné zadat do programu seznam místností, jejich vnější a vnitřní geometrické rozměry. Do výpočtu se zadávají pouze konstrukce, které tvoří obálku budovy. Tepelné toky mezi místnostmi vytápěnými na stejnou teplotu se ve výpočtu neuvažují.

**Tabulka 10 - Výpočet měrné ztráty místnosti „Pracovna“**

Č.	Místnost	Konstrukce	Délka [m]	Šířka [m]	Výška [m]	Plocha [m2]	Objem [m3]	Koeficient prostupu tepla [W/m2K]	Redukční činitele	HT [W/K]	Počet otvorů
206	Pracovna	PDL1	1,2	1,79	2,85	2,15	6,12	0,163	0,13	0,05	
206		PDL2	2	3	2,85	6,00	17,10	0,163	1	0,98	
206		PDL2	1,2	0,91	2,85	1,09	3,11	0,163	1	0,18	
206		SO1	2		2,85	4,08		0,214	1	0,87	-1
206		DO1		0,8	2,02	1,62		1,5	1	2,42	1
206		SO1		3	2,85	7,47		0,214	1	1,60	-1
206		OZ1		0,9	1,2	1,08		1,1	1	1,19	1
206		SO1	3,2		2,85	9,12		0,214	1	1,95	
206		STR1	2	3		6,00		0,187	1	1,12	
206		STR1	1,2	2,7		3,24		0,187	1	0,61	

tv

Místnost

Při změně čísla místnosti změnit i vazby

Podlaží - číslo místnosti

2

202

Uživatelské číslo místn.

202

Kód místnosti

18111

...

Úsek OS - zóna

2

2

Světová strana

JZ

▼

Výpočtová teplota

t<sub>i</sub>

▼

20

...

°C

Výměna vzduchu

n<sub>p</sub>

0,50

▼

1/hod

Nucené větrání

Ne

▼

Tepelné zisky

Q<sub>z</sub>

0

W

Výškový činitel

ε

1,0

...

Zátopový součinitel fRH

0

...

W/m<sup>2</sup>

Stínící součinitel

e

0,03

Parametr

B'<sub>m</sub>

1,16

Plocha podlahy

A<sub>pe</sub>

9,24

m<sup>2</sup>

Plocha podlahy

A<sub>pi</sub>

6,72

m<sup>2</sup>

Objem místnosti

V<sub>me</sub>

26,33

m<sup>3</sup>

Objem místnosti

V<sub>mi</sub>

16,80

m<sup>3</sup>

Topná plocha

A<sub>pu</sub>

6,72

m<sup>2</sup>

201

203

Účel

Pracovna

▼

Rozměry místnosti

Systém rozměrů : E - vnější

Název	Značka	Vnější r... m	Vnitřní r... m
Výška konstrukční	h / h <sub>s</sub>	2,85	2,50
Šířka	s / s <sub>v</sub>	3,00	2,40
Délka	l / l <sub>v</sub>	3,20	2,80
Šířka s1	s1	0,30	
Délka l1	l1	1,20	
Šířka s2	s2 / s <sub>v2</sub>	2,70	2,10
Délka l2	l2 / l <sub>v2</sub>	2,00	1,60

Zadané konstrukce

Tvar místnosti

OK	x	y	PO	SS	tzk	l...	Text	Pa... m
PDL2	1,2	0,91	0		V			
PDL1	1,2	1,79	0		V			
SO1	2	h	-1		V			
DO1	0,80	2,02	1		V	1		0,00
SO1	3	h	-1		V			
OZ1	0,90	1,20	1		V	1		0,85
SO1	3,2	h	0		V			
STR1	Ape	1,00	0		V			

t<sub>1</sub> = 0 °C

t<sub>2</sub> = 0 °C

t<sub>3</sub> = 0 °C

t<sub>4</sub> = 0 °C

t<sub>5</sub> = 0 °C

OK

Storno

Větrání

Výkres

tzk

↺

Plochy

?

Lineární vazby

?

**Obrázek 16 - Karta místnosti v programu "Tepelný výkon"**

Tabulka 11 – Výpočet měrných tepelných ztrát

Č.	Místnost	Konstrukce	Délka [m]	Šířka [m]	Výška [m]	Plocha [m <sup>2</sup> ]	Objem [m <sup>3</sup> ]	Koeficient prostupu tepla [W/m <sup>2</sup> K]	Redukční činitel	HT [W/K]	Počet otvorů
201	Zádveří	PDL1	1,8	2	2,85	3,60	10,26	0,163	0,13	0,08	
201		PDL2	0,3	2	2,85	0,60	1,71	0,163	1	0,10	
201		SO1		2	2,85	3,88		0,214	1	0,83	-1
201		DO2		0,9	2,02	1,82		1,5	1	2,73	1
201		STR1	2,1	2		4,20		0,187	1	0,79	
206	Pracovna	PDL1	1,2	1,79	2,85	2,15	6,12	0,163	0,13	0,05	
206		PDL2	2	3	2,85	6,00	17,10	0,163	1	0,98	
206		PDL2	1,2	0,91	2,85	1,09	3,11	0,163	1	0,18	
206		SO1	2		2,85	4,08		0,214	1	0,87	-1
206		DO1		0,8	2,02	1,62		1,5	1	2,42	1
206		SO1		3	2,85	7,47		0,214	1	1,60	-1
206		OZ1		0,9	1,2	1,08		1,1	1	1,19	1
206		SO1	3,2		2,85	9,12		0,214	1	1,95	
206		STR1	2	3		6,00		0,187	1	1,12	
206		STR1	1,2	2,7		3,24		0,187	1	0,61	
204	Šatna	PDL1	2,3	1,79	2,85	4,12	11,73	0,163	0,13	0,09	
204		PDL1	1,7	0,6	2,85	1,02	2,91	0,163	0,13	0,02	
204		PDL2	2,3	0,91	2,85	2,09	5,97	0,163	1	0,34	
204		SO1	2,3		2,85	6,20		0,214	1	1,33	-1
204		OZ2		0,6	0,6	0,36		1,1	1	0,40	1
204		STR1	2,3	3,3		7,59		0,187	1	1,42	
204		STR1	0,6	0,6		-0,36		0,187	1	-0,07	
205	Ložnice	PDL1	2,7	2,39	2,85	6,45	18,39	0,163	0,13	0,14	
205		PDL2	3	0,91	2,85	2,73	7,78	0,163	1	0,44	
205		PDL2	0,3	2,39	2,85	0,72	2,04	0,163	1	0,12	
205		SO1	3		2,85	7,47		0,214	1	1,60	-1
205		OZ1		0,9	1,2	1,08		1,1	1	1,19	1
205		SO1		3,3	2,85	9,41		0,214	1	2,01	
205		STR1	3	3,3		9,90		0,187	1	1,85	
202	Obývací pokoj	PDL1	4,3	3,32	2,85	14,28	40,69	0,163	0,13	0,31	
202		PDL2	0,3	2,12	2,85	0,64	1,81	0,163	1	0,10	
202		PDL2	0,3	3,32	2,85	1,00	2,84	0,163	1	0,16	
202		PDL1	1,8	2,12	2,85	3,82	10,88	0,163	0,13	0,08	
202		SO1		3,32	2,85	9,94		0,214	1	2,13	-1
202		OZ1		0,9	1,2	1,08		1,1	1	1,19	1
202		SO1		2,12	2,85	3,41		0,214	1	0,73	-1
202		OZ1		0,9	1,2	1,08		1,1	1	1,19	1
202		STR1	4,6	3,32		15,27		0,187	1	2,86	
202		STR1	2,1	2,12		4,45		0,187	1	0,83	
202b	Kuchyň	PDL2	0,3	3,6	2,85	1,08	3,08	0,163	1	0,18	
202b		PDL2	4,3	0,3	2,85	1,29	3,68	0,163	1	0,21	
202b		PDL1	4,3	3,3	2,85	14,19	40,44	0,163	0,13	0,30	
202b		SO1		3,6	2,85	9,18		0,214	1	1,96	-1
202b		OZ1		0,9	1,2	1,08		1,1	1	1,19	1
202b		SO1	4,6		2,85	12,03		0,214	1	2,57	-1
202b		OZ1		0,9	1,2	1,08		1,1	1	1,19	1
202b		STR1	4,6	3,6		16,56		0,187	1	3,10	
203	WC+Koupelna	PDL1	1,8	3,3	2,85	5,94	16,93	0,163	0,13	0,13	
203		PDL2	1,8	0,3	2,85	0,54	1,54	0,163	1	0,09	
203		PDL2	0,3	3,6	2,85	1,08	3,08	0,163	1	0,18	
203		SO1	2,1		2,85	5,99		0,214	1	1,28	
203		SO1		3,6	2,85	9,18		0,214	1	1,96	-1
203		OZ1		0,9	1,2	1,08		1,1	1	1,19	1
203		STR1	3,6	2,1		7,56		0,187	1	1,41	
									0,02	5,15	
	<b>Celkem</b>					<b>258</b>	<b>212</b>	<b>0,225</b>		<b>58,04</b>	

### 6.3. Výpočet tepelných ztrát objektu

Výpočet tepelných ztrát na vytápění a větrání byl proveden dvěma způsoby a to postupem uvedeným v normě ČSN 730540-2:2011 a pomocí programového modulu „Tepelný výkon“ v programu PROTECH.

#### 6.3.1. Výpočet podle ČSN 73 0540-2:2011

Tabulka 12 Výpočet měrné ztráty budovy a referenční budovy

Výpočet podle ČSN 730540-2:2011								
Konstrukce	Referenční budova (stanovení požadavku)				Hodnocená budova			
	Plocha	Součinitel prostupu tepla	Redukční činitel	Měrná ztráta prostupem tepla	Plocha	Součinitel prostupu tepla	Redukční činitel	Měrná ztráta prostupem tepla
	A	U	b	H <sub>T</sub>	A	U	b	H <sub>T</sub>
	[m <sup>2</sup> ]	[W/(m <sup>2</sup> .K)]	[-]	[W/K]	[m <sup>2</sup> ]	[W/(m <sup>2</sup> .K)]	[-]	[W/K]
Celkem započitatelná plocha výplň otvorů	7,92	1,5	1	11,9	7,92	1,1	1	8,7
	3,43	1,7	1	5,8	3,43	1,5	1	5,1
Celkem obvodové stěny po odečtení výplně otvorů	72,85	0,3	1	21,9	72,85	0,214	1	15,6
Zbývající část výplně otvorů započtená jako obvodová stěna	0	0,3	1	0	0		1	0
Strop	74,41	0,3	1	22,3	74,41	0,187	1	13,9
Podlaha	74,41	0,24	1	17,9	74,41	0,167		
					55,56	0,167	0,13	1,2
					18,85	0,167	1	20,0
Celkem	233,0			79,7	233,0			64,6
Tepelné vazby		233,0	0,02	4,7		233,0	0,02	4,7
Celková měrná ztráta prostupem tepla				84,4	0			69,2
Objemový faktor budovy			1,10				1,10	
Průměrný součinitel prostupu tepla podle 5.3.4. a tabulky 5		0,36				0,30		
Požadovaná hodnota						0,36		
Podíl hodnot						0,82		
Hodnocení budovy					Vyhovující C			

Z měrné ztráty prostupem tepla byla pomocí vztahu:

$$E = H_T * (t_e - t_{avg,i}) * 240 * 24 * 1000 \quad (kWh) \quad (8)$$

vypočtena poměrná část výkonu topného systému na krytí těchto ztrát.

Tabulka 13 – Výpočet tepelných ztrát způsobených prostupem tepla

	Položka	Jednotka	Hodnota
1	Měrné ztráty objektu	W/K	58,04
2	Vnitřní výpočtová teplota	°C	20
3	Vnější výpočtová teplota	°C	-15
4	Rozdíl teplot te-ti	K	35
5	Průměrná vnější teplota	°C	4,2
6	Redukční koeficient na prům. teplotu		0,45
7	Počet topných dní za rok	1/r	240
8	Počet hodin za den	hod	24
9	Potřeba energie na krytí ztrát prostupem tepla	Wh/r	5281811
10	Potřeba energie na krytí ztrát prostupem tepla	kWh/r	5282
11	<b>Potřeba energie na krytí ztrát prostupem tepla</b>	<b>GJ/r</b>	<b>19,0</b>
12	<b>Minimální výkon při 13°C</b>	<b>kW</b>	<b>0,41</b>
13	<b>Maximální výkon při -15°C</b>	<b>kW</b>	<b>2,03</b>

Je zřejmé, že výkon topného systému bude záviset na venkovní teplotě. Při průměrné venkovní teplotě +13°C bude výkon roven nule, při teplotě -15°C bude roven 2,03 kW.

Tabulka 14 – Výpočet tepelných ztrát způsobených větráním

	Položka	Jednotka	Hodnota
1	Objem vytápěného prostoru	m <sup>3</sup>	212
2	Četnost výměny	1/h	0,5
3	Objem větracího vzduchu	m <sup>3</sup>	106
4	Hustota vzduchu	kg/ m <sup>3</sup>	1,276
5	Hmotnost vzduchu	kg	135
6	Rozdíl teplot te-ti	K	35
7	Průměrná vnější teplota	°C	5,2
8	Redukční koeficient na prům. teplotu		0,42
9	Počet topných dní		240
10	Počet hodin za den	hod	24
11	Měrné teplo vzduchu	kJ/kg/K	1,005
12	Množství tepla na ohřev vzduchu	GJ/r	3,22
13	Výkon na krytí ztrát větráním	W	1322
14	Potřeba energie na krytí ztrát větráním	MWh/r	3,22
15	<b>Potřeba energie na krytí ztrát větráním</b>	<b>GJ/r</b>	<b>11,59</b>
17	<b>Minimální výkon při 13°C</b>	<b>kW</b>	<b>0,26</b>
18	<b>Maximální výkon při -15°C</b>	<b>kW</b>	<b>1,32</b>

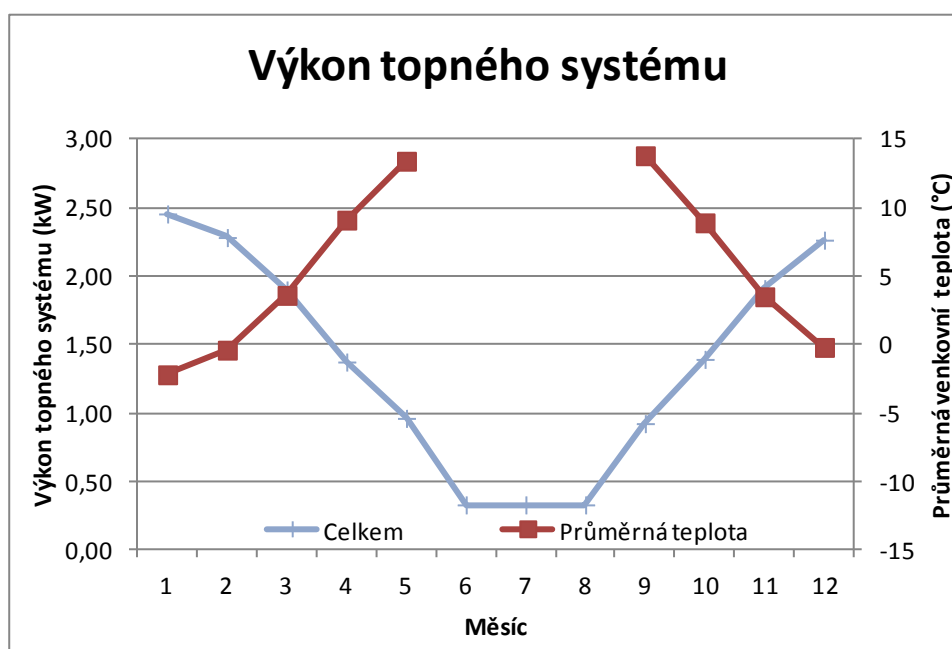
Z požadované intenzity větrání 0,5/hod byly stejným způsobem vypočtené tepelné ztráty způsobené větráním (viz Tabulka 14).

V další tabulce byl proveden výpočet potřeby tepla na ohřev TUV a tomu odpovídající výkon topného systému. Při průměrné spotřebě teplé vody 75 l/os/den a 2 osobách vychází pro ohřev vody průměrný výkon topného systému 0,33 kW. V případě špičkového odběru teplé vody se výkon může zvýšit až osminásobně (potřeba ohřát 1/3 teplé vody v průběhu jedné hodiny tj. 24/3).

Tabulka 15 – Výpočet výkonu topného systému připadající na ohřev teplé vody

	Položka	Jednotka	Hodnota
1	Počet osob		2
2	Průměrná spotřeba TV	l/os/den	75
3	Spotřeba TV za měsíc	m <sup>3</sup> /měsíc	4,5
4	Teplota vstupní vody	°C	10
5	Teplota výstupní vody	°C	55
6	Rozdíl teplot	°C	45
7	Množství tepla na ohřev TV	GJ/měsíc	0,85
8	<b>Množství tepla na ohřev TV</b>	<b>GJ/r</b>	<b>10,2</b>
9	Výkon zdroje tepla na ohřev TV	kW	0,33
10	<b>Potřeba energie na krytí ohřevu TV</b>	<b>kW</b>	<b>0,33</b>

Následující graf znázorňuje závislost požadovaného průměrného výkonu v průběhu topného období v závislosti na průměrné venkovní teplotě, která byla převzata z katalogu firmy PROTECH.



Obrázek 17 - Závislost průměrného výkonu v průběhu topného období

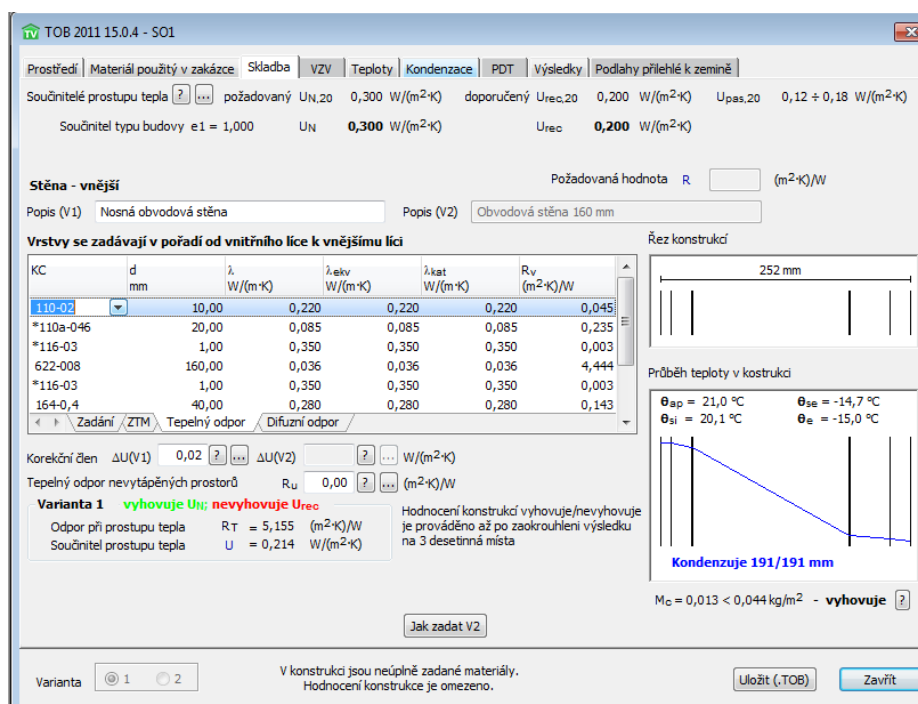
Z přiloženého grafu a tabulky vyplývá, že pro zajištění plynulého vytápění, větrání a ohřevu teplé vody v rodinném domě bude potřebné nainstalovat topný systém (tepelné čerpadlo) o výkonu 2,5-7 kW. Při topném výkonu 7 kW tepelné čerpadlo pokryje i tepelné ztráty ve špičkách při venkovní teplotě  $-25^{\circ}\text{C}$ .

Následující tabulka uvádí porovnání koeficientů prostupu tepla u třech konstrukcí, porovnání ztrát přestupem tepla a větráním a nakonec potřeby energie na vytápění. Hodnoty vypočtené podle fyzikálních zákonů a postupem uvedeným v technické normě velmi dobře korespondují s hodnotami vypočtenými profesionálním programem.

**Tabulka 16 - Porovnání hodnot veličin vypočtených ručně a programem "Tepelný výkon"**

	Parametr	Jednotka	Výpočet	PROTECH	Rozdíl (%)
<b>A</b>	<b>Koeficient prostupu tepla</b>				
1	Stěna SO1	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	0,214	0,214	0,0
2	Podlaha PDL1	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	0,168	0,167	0,6
3	Strop STR1	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	0,188	0,187	0,5
<b>B</b>	<b>Tepelné ztráty</b>				
	Prostupem tepla	W	2031	2136	-4,9
	Větráním	W	1322	1228	7,7
	Celkem	W	3353	3364	-0,3
<b>C</b>	<b>Potřeba energie</b>				
	Na vytápění a větrání	GJ/r	29,39	28,5	3,1

Následující obrázky dokládají hodnoty vypočtené programem „Tepelný výkon“.



**Obrázek 18 - Karta konstrukce SO1 v programu "Tepelný výkon"**



**Rozdělení ztrát mezi konstrukce - varianta 1**

OK	ZZ	Plocha m <sup>2</sup>	Délka LV m	H W/K	$\Phi(T)$ W
SO1	Z	97,1		20,77	726,9
PDL1	Z	57,7		9,41	329,2
PDL2	Z	18,9		3,15	110,2
STR1	Z	74,2		13,90	486,4
DO1	0	1,6		1,78	62,2
DO2	0	1,8		2,00	70,0
OZ1	0	7,6		9,56	334,7
OZ2	0	0,4		0,46	15,9

Ztráty prostupem W

PDL	439
SO	727
DO	132
STR	486
OZ	351

**varianta 1**

Ztráty prostupem	$\Phi(T_b)$	2136 W
výměnou vzduchu	$\Phi(V_b)$	1228 W
součet	$\Phi(cb)$	3364 W

Podíl ztrát

$\Phi(T_b)/\Phi(cb)$	63 %
$\Phi(V_b)/\Phi(cb)$	37 %

Varianty: **varianta 1**, Varianta 2

Zavřít

Obrázek 19 - Rozdělení ztrát mezi konstrukce

**Potřeba energie na vytápění a TV**

Období Úseky Koeficienty Výpočet Ohřev TV Výkony

Rozložení potřeby energie **varianta 1**

Měsíc	Dny	$t_{es}$ °C	$E_v$ kWh	$E_v$ GJ	$E_v$ %	$B_v$ m <sup>3</sup>
8	0	15,0	0	0,0	0,0	0,0
9	7	13,8	94	337,3	1,2	11,1
10	31	8,9	743	2674,4	9,4	87,9
11	30	3,5	1069	3847,2	13,5	126,4
12	31	-0,2	1352	4866,9	17,1	159,9
1	31	-2,2	1486	5348,8	18,8	175,8
2	28	-0,4	1233	4439,5	15,6	145,9
3	31	3,6	1098	3951,4	13,9	129,9
4	30	9,1	706	2541,5	8,9	83,5
5	10	13,4	142	513,0	1,8	16,9
6	0	15,0	0	0,0	0,0	0,0

Celkem  $E_v = 7922,2 \text{ kWh}$   
28,5 GJ

$B_v = 937,2 \text{ m}^3$

Varianty: Varianta 2

Obrázek 20 - Výpočet potřeby energie na vytápění

## 7. Návrh vhodného druhu tepelného čerpadla

V rámci DP jsem se zabýval pouze vytápěním obytné nástavby, nikoli vytápění zámečnické dílny, jelikož má nepravidelné (přerušované) vytápění. Kdyby se dílna vhodně zateplila, mohl by správně dimenzovaný řízený zdroj (tepelné čerpadlo) dodávat tepelnou energii do obou částí. Stávající kotel na zemní plyn by mohl recipročně posloužit jako bivalentní zdroj energie pro rodinný dům.

V teoretické části jsou popsány jednotlivé druhy tepelných čerpadel. Z projektové dokumentace nástavby rodinného domu nevyplývá, že v blízkosti stávající zámečnické dílny se nachází vhodný zdroj obnovitelné energie tj. vodní plocha, neupravený pozemek nebo zda má ke stávajícímu objektu přístup těžká vrtná technika. Proto jsem se rozhodl osadit nástavbu rodinného domu tepelným čerpadlem vzduch – voda s akumulací nádrží na TUV. Počáteční investiční náklady patří u tohoto druhu tepelných čerpadel k nejnižším.

Vypočítané tepelné ztráty objektu nám vyšly přibližně 2kW při venkovní teplotě  $-15^{\circ}\text{C}$ , maximální výkon pro spotřebu tepla způsobené větráním je 1,32 kW a průměrný výkon potřebný pro ohřev TUV je 0,33 kW (špičkově až 2,64 kW). Ze součtu dílčích výkonů vyplývá, že by bylo vhodné zvolit tepelné čerpadlo s výkonem 3,5 – 7 kW.

Při procházení typů tepelných čerpadel od různých výrobců, mne nejvíce zaujaly 3 níže uvedené modely, které nejvíc vyhovují zadání.

### 7.1. NIBE SPLIT SET 1

Jako první variantu jsem si zvolil tepelné čerpadlo od společnosti NIBE s názvem NIBE SPLIT - SET 1 vhodné pro menší domy s tepelnou ztrátou objektu 3 – 7 kW s nerezovým zásobníkem pro ohřev teplé vody o objemu 270 litrů. Toto čerpadlo pracuje v rozsahu venkovní teploty od  $-20^{\circ}\text{C}$  až po  $+43^{\circ}\text{C}$ . Maximální topný faktor při venkovní teplotě  $7^{\circ}\text{C}$  a topné vodě  $35^{\circ}\text{C}$  je 4,13, zatímco při venkovní teplotě  $-15^{\circ}\text{C}$  a topné vodě  $+35^{\circ}\text{C}$  bude jeho hodnota 2,28.

Vnější jednotka NIBE SPLIT AMS 10 má hmotnost 60kg a vyjde na 90 000 Kč.

Vnitřní jednotka ACVM 270 má hmotnost 140 kg a její cena je 130 000 Kč.

Takže nás celý set vyjde na 220 000 Kč.

### 7.2. NIBE SPLIT SET 10

Jako druhou možnost jsem vybral tepelné čerpadlo opět od společnosti NIBE s názvem NIBE SPLIT SET 10, které se skládá ze 3 jednotek, odděleného hydroboxu HBS 12, externího zásobníku vody NADO 500/25 v 10 o objemu až 435 litrů a vnější jednotky NIBE AMS 10 – 8kW. Pracovní rozsah venkovní teploty je od  $-20^{\circ}\text{C}$  až do  $+43^{\circ}\text{C}$ . Maximální hodnota topného faktoru při venkovní teplotě  $7^{\circ}\text{C}$  a teplotě topné vody  $45^{\circ}\text{C}$  je 3,16, zatímco při venkovní teplotě  $-7^{\circ}\text{C}$  a teplotě topné vody  $45^{\circ}\text{C}$  je jeho hodnota 2,2.

Vnější jednotka NIBE SPLIT AMS 10 má hmotnost 60 kg a její cena je 90 000 Kč.

Hydrobox HBS 12 váží 64,5 kg a jeho cena je 85 000 Kč.

Zásobník teplé vody NADO 500/25 v10 nás vyjde na 45 000 Kč.

Celá sestava nás tím pádem stojí také 220 000 Kč jako u předchozí varianty.

### **7.3. VIESSMANN VITOCAL 242-S**

Jako třetí možnost jsem si zvolil tepelné čerpadlo Viessmann s názvem VITOCAL 242-S s topným výkonem 3 – 9,06 kW a zásobníkem na 220 litrů. Tento typ nám zaručí poměrně vysoký topný faktor při teplotě vzduchu 7°C a teplotě topné vody 35°C až 5,1 a při teplotě vzduchu 2°C a teplotě topné vody 35°C je hodnota až 3,8. Pracuje do nejnižší teploty -15°C.

Cena tohoto typu tepelného čerpadla vychází na 175 000,- + DPH = 210 500 Kč.

Praktická část ukázala, že budova splňuje požadavky kladené na energetickou náročnost budovy. Budova má nízké ztráty. Lze je pokrýt TČ o výkonu 3-7,5 kW typ vzduch - voda.

## 8. Závěr

Před zahájením diplomové práce jsem měl pouze povrchní povědomí o zpracované problematice. V souvislosti s teoretickou přípravou jsem se seznámil s aktuálně platnou legislativou, která upravuje chování konečných uživatelů energie. Pochopil jsem, že jiná cesta, než cesta hospodaření energií neexistuje. Přitom se nejedná o úspory v řádech jednotek procent. Cíle jsou postavené velmi vysoko. Aby bylo možné tyto cíle dosáhnout, je potřebné využívat ke stavbě nových budov progresivní, moderní materiály s velmi nízkými součiniteli prostupu tepla. V oblasti technických systémů je potřebné se zaměřit na systémy využívající obnovitelné zdroje energie. Stávající technická úroveň zařízení ani zdaleka nedosáhla svého vrcholu, který je určen fyzikálním limitem účinnosti těchto systémů. Je jasné, že technické systémy nikdy nedosáhnou účinnosti 100%. Čím je aktuální účinnost vzdálenější od tohoto čísla, tím větší prostor pro inovace se nám otvírá. Využití kondenzačního tepla ve vodní páře obsažené ve spalínách umožnilo zvýšit účinnost plynových kotlů asi o 11%. Využití poznatků fyziky polovodičů umožnilo zvýšit účinnost fotovoltaických článků z průměrných 16% až na 19%.

Mým úkolem bylo navrhnout vhodný systém vytápění nástavby rodinného domu. Praktická část diplomové práce ukázala, že nejvhodnějším zdrojem vytápění a ohřevu teplé vody bude tepelné čerpadlo vzduch – voda s akumulačním zásobníkem. Tyto parametry nejlépe splňuje tepelné čerpadlo vzduch – voda od společnosti Viessmann typu VITOCAL 242-S s topným výkonem 3 – 9,06 kW, zásobníkem TUV o objemu 220 litrů a vysokého topného faktoru v celém rozsahu pracovních teplot až do nejvyšší hodnoty 5,1.

Tato varianta vychází nejlépe jak z pohledu technického tak i ekonomického.

## Seznam literatury

- [1] O hospodaření energií. In: *Sbírka zákonů*. 2000, č. 406, 115.
- [2] O energetické náročnosti budov. In: *Sbírka zákonů*. 2013, č. 78, 115.
- [3] O energetickém auditu. In: *Sbírka zákonů*. 2012, č. 480, 182
- [4] Výňatek z normy ČSN 73 0540-2 z října 2011. *Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební* [online]. [cit. 2014-07-31]. Dostupné z: [http://www.fce.vutbr.cz/TZB/treuova.l/TABULKY/Vynatek\\_z\\_735040.pdf](http://www.fce.vutbr.cz/TZB/treuova.l/TABULKY/Vynatek_z_735040.pdf)
- [5] HALLIDAY, David, Robert RESNICK a Jearl WALKER. *Fyzika*. 2. přeprac. vyd. Editor Petr Dub. Brno: VUTIUM, c2013, 2 sv. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-4123-1.
- [6] ZTRÁTY. *Ekowatt* [online]. 2008 [cit. 2014-07-30]. Dostupné z: <http://www.ekowatt.cz/uspory/ztraty.shtml>
- [7] HRADÍLEK, Zdeněk. VŠB – TUO V OSTRAVĚ. *Elektroenergetika distribučních a průmyslových zařízení*. Ostrava, 2008. ISBN 987-7225291-6.
- [8] Pellets - Briquettes - Charcoal. *FORDAQ* [online]. 2014 [cit. 2014-07-30]. Dostupné z: <http://www.fordaq.com/fordaq/srvAuctionView.html?AucTId=17968108>
- [9] Brikety TOP Plus. *Hyper inzerce* [online]. 2014 [cit. 2014-07-30]. Dostupné z: <http://suroviny-polotovary.hyperinzerce.cz/paliva/inzerat/8594236-brikety-top-plus-doprava-zdarma-nabidka-moravskoslezsky-kraj/>
- [10] Tepelná čerpadla. BENKOKLIMA. *Benkoklima - klimatizace, odvlhčovače, vzduchotechnika, čištění vzduchu* [online]. [cit. 2014-07-25]. Dostupné z: <http://www.benkoklima.cz/tepelna-cerpadla.html>
- [11] SRDEČNÝ, Karel. *Tepelná čerpadla*. 1. vyd. Praha: EkoWATT, 2009, 71 s. ISBN 978-80-87333-02-0.
- [12] PADRAIC, Dempsey. CODEX. *Heat Pumps for Poultry & Pigs* [online]. 2012 [cit. 2014-07-25]. Dostupné z: [http://www.teagasc.ie/publications/2012/1641/Padraic\\_Dempsey\\_HeatPumpsPigFarms.pdf](http://www.teagasc.ie/publications/2012/1641/Padraic_Dempsey_HeatPumpsPigFarms.pdf)
- [13] TINTĚRA, Ladislav. *Tepelná čerpadla*. 1. vyd. Praha: ARCH, 2003, 121 s. ISBN 80-861-6561-2
- [14] Tepelná čerpadla - Daikin. *Faraheit servis s.r.o.* [online]. 2008 [cit. 2014-07-30]. Dostupné z: [http://www.faraheitservis.cz/tepelna-cerpadla/daikin\\_1](http://www.faraheitservis.cz/tepelna-cerpadla/daikin_1)
- [15] NIBE ENERGY SYSTEMS CZ. *Ventilační tepelná čerpadla NIBE* [online]. 2011 [cit. 2014-07-25]. Dostupné z: [http://www.nibe.cz/images/download/katalog\\_ventilacnich\\_cerpadel\\_M11079-2.pdf](http://www.nibe.cz/images/download/katalog_ventilacnich_cerpadel_M11079-2.pdf)
- [16] Tepelná čerpadla. *Energetický poradce PRE* [online]. [cit. 2014-07-25]. Dostupné z: <http://www.energetickyporadce.cz/cs/uspory-energie/vytapeni/tepelna-cerpadla/>
- [17] *Instalatéři EKOMPLEX - Instalátorské práce | Instalátér voda -kanalizace - plyn - topení* [online]. 2014 [cit. 2014-07-25]. Dostupné z: <http://www.topeni-topenari.eu>

- [18] Tepelná čerpadla - výběr technologie a návratnost. *InfoBYDLENÍ.cz* [online]. 2012 [cit. 2014-07-25]. Dostupné z: <http://www.infobydleni.cz/news/tepelna-cerpadla-vyber-technologie-a-navratnost/>
- [19] Druhy tepelných čerpadel. *VODO - TOPO - PLYN Žurek* [online]. [cit. 2014-07-25]. Dostupné z: [http://vodo-topo-plyn.eu/cs/tepelna\\_cerpadla/](http://vodo-topo-plyn.eu/cs/tepelna_cerpadla/)
- [20] Tepelné čerpadlo. *Richter + Frenzel s.r.o.* [online]. [cit. 2014-07-25]. Dostupné z: <http://www.r-f.cz/r-f-koupelny/teplo/obnovitelne-zdroje-energie/tepelne-cerpadlo/>
- [21] Tepelná čerpadla. *SYSTEP A.S. Tepelná čerpadla, solární panely, zelená úsporám* [online]. 2009 [cit. 2014-07-25]. Dostupné z: <http://www.systep.cz/tepelna-cerpadla.html>
- [22] *Elektrotepelná technika* – HRADÍLEK Zdeněk, KRÁL Vladimír, 1. vydání Praha 2011: ČVUT v Praze, ISBN 978-80-01-04938-9
- [23] *Tepelná čerpadla, topení a vytápění tepelným čerpadlem* [online]. 2012 [cit. 2014-07-25]. Dostupné z: <http://www.e-tepelna-cerpadla.cz/>
- [24] ČSN EN 12831. *Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu*. 2005.
- [25] ČSN 73 0540-2. *Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*. 2012

## **Seznam příloh**

### **Viz. přiložené CD**

1. Půdorys 2.NP
2. Podkroví
3. Základy
4. Strop nad 2.NP
5. Půdorys 1.NP
6. Řez A-A
7. Pohledy
8. Tabulka oken
9. Tabulka dveří
10. Tabulka dveří 2
11. Technická zpráva objektu